This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

F. NIETHAMMER

ELEKTRISCHE MASCHINEN APPARATE UND ANLAGEN

FÜNF BÄNDE · III. BAND

ELEKTRISCHE SCHALTANLAGEN UND APPARATE SAMT GRUNDLAGEN ZUR PROJEKTIERUNG ELEKTRISCHER ANLAGEN

Digitized by Google

Library
of the
University of Wisconsin

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

BERECHNUNG UND ENTWURF

Elektrischer

Maschinen, Apparate und Anlagen

für Studierende und Ingenieure.

Von

Dr. F. NIETHAMMER,
O. PROFESSOR AN DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE IN BRÜNN.

FÜNF BÄNDE.

III. Band.

Elektrische Schaltanlagen und Apparate samt Grundlagen zur Projektierung elektrischer Anlagen.

Mit 609 Textabbildungen und 13 Tafeln.

STUTTGART.
VERLAG VON FERDINAND ENKE.
1905.

Digitized by Google

ELEKTRISCHE

SCHALTANLAGEN UND APPARATE

SAMT GRUNDLAGEN ZUR

PROJEKTIERUNG ELEKTRISCHER ANLAGEN.

VON

DR. F. NIETHAMMER,
O. PROFESSOR AN DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE IN BRÜNN.

MIT 609 TEXTABBILDUNGEN UND 13 TAFELN.

STUTTGART.
VERLAG VON FERDINAND ENKE.
1905.

Digitized by Google

Druck der Union Deutsche Verlagsgesellschaft in Stuttgart.

Digitized by Google

90249
NOV 17 1905

Vorwort.

Ueber die Konstruktion von größeren Schaltanlagen, die in neueren elektrischen Zentralen eine so wichtige Rolle spielen, fehlt es bis jetzt in der elektrotechnischen Literatur an geeigneten Werken. Viele Elektrizitätsfirmen sind mit der Herausgabe von Unterlagen über moderne Hochspannungsanlagen sehr zurückhaltend, da sie erklären, „die große Menge intensiver Arbeit und wertvoller Erfahrungen", die darin niedergelegt ist, nicht ohne weiteres preisgeben zu wollen. Umsomehr gebührt den Firmen, deren Namen aus dem vorliegenden Werke selbst hervorgehen und die mich so tatkräftig mit den Plänen ihrer allerneuesten Anlagen unterstützt haben, mein besonderer Dank, vor allem ist als Pionier auf diesem Gebiete die Firma Brown, Boveri & Co. zu nennen; aber auch die amerikanischen Großfirmen scheuen sich nicht, die Anordnung ihrer epochemachenden Schaltanlagen zu veröffentlichen. Durch Bekanntgabe solcher Konstruktionsdaten wird das Niveau der Elektrotechnik im allgemeinen gehoben und das Verständnis für betriebssichere Konstruktionen geweckt.

Das hier behandelte Gebiet verlangte unbedingt die Aufnahme zahlreicher Abbildungen, welche die Verlagsbuchhandlung in muster-

Digitized by Google

gültiger Weise wiedergegeben hat, wofür ich ihr meinen allerwärmsten Dank schulde.

Der zweite Teil dieses Bandes steht in keinem engeren Zusammenhang zum ersten, er ist der Anfang der in den weiteren Bänden behandelten elektrischen Anlagen.

Brünn, im August 1905.

F. Niethammer.

Digitized by Google

Inhaltsverzeichnis.

Erster Teil.

Schaltanlagen und Apparate.

		Seite
I.	**Schaltanlagen**	1
	1. Uebersicht	1
	2. Aufbau der Schalttafeln	3
	3. Bedienung	68
	4. Schaltungsschemen	74
	5. Entwurf der Schalttafel	93
	6. Schalttafelgerüste	96
	7. Sammelschienen und Schalttafelleitungen	101
	8. Leitungsausführungen	119
	8a. Die Schaltanlagen von Brown, Boveri & Co. A.-G., der Maschinenfabrik Oerlikon und der Elektrizitätsgesellschaft Alioth	124
	8b. Zusätze zu Schalttafeln	148
II.	**Schalter**	150
	9. Allgemeines und Einteilung der Schalter	150
	10. Niederspannungsschalter	152
	11. Hochspannungsschalter	167
	12. Oelschalter	175
	13. Spezialschalter	190
	14. Umschalter	192
III.	**Sicherungen**	195
	15. Sicherungspatronen und Streifensicherungen	195
	16. Hochspannungssicherungen	202
	17. Montage und Berechnung der Sicherungen	208
IV.	**Selbsttätige Schalter (Automaten)**	214
	18. Gleichstromautomaten	214
	19. Wechselstromautomaten	223
	20. Zeit-, Rückstrom- und Fernschalter	227
	21. Relais und Schaltmagnete	234

Digitized by Google

Seite

V. **Meßinstrumente** 244
22. Anforderungen an Schalttafelinstrumente 244
23. Instrumententypen 245
24. Aufbau der Meßinstrumente 249
25. Zähler und Meßtransformatoren 253
26. Synchronisierapparate. Polaritätszeiger 258
27. Registrierende Instrumente. Mittlere Netzspannung 261

VI. **Schutzvorrichtungen gegen Blitz und Ueberspannungen** 263
28. Blitzschutz 263
29. Ueberspannungssicherungen 273

VII. **Widerstände** 276
30. Abmessungen des Widerstandsmaterials 276
31. Konstruktion der Widerstände 282
32. Flüssigkeitswiderstände 302

VIII. **Regulatoren** 309
33. Erregerwiderstände 309
34. Hauptstromwiderstände 314
35. Motorregler 315
36. Konstruktion der Widerstandsregler 317
37. Selbsttätige Regulierwiderstände 324
38. Zellenschalter 333
39. Wechselstromregulierapparate 341

IX. **Anlasser** 345
40. Einteilung 345
41. Theoretische Ermittlung der Anlaßwiderstände 347
42. Konstruktion der Anlasser 358
43. Anlasser für schwierige Verhältnisse 385
44. Tourenregler 410
45. Selbstanlasser 415
46. Anlaßdynamos und Puffermaschinen 419
47. Vergleich der verschiedenen Methoden zum Anlassen und Touren-regeln bezüglich Wirtschaftlichkeit und Anschaffungspreis . . . 423

X. **Verschiedene Apparate** 429
48. Elektrische Bremsen 429
a) Motor als Dynamo 429
b) Bremsmagnete, Bremsmotoren und Kupplungen 431
49. Stromzuleitungen für nicht ortsfeste Elektromotoren. Grenzschalter 447
50. Maße, Preise und Gewichte von Apparaten 456
A) Schalter 456
B) Sicherungen 458
C) Blitzschutz 459
D) Zellenschalter 459
E) Nebenschlußregler 460
F) Anlasser 460
G) Hausanschlußkästen 462
H) Bremsmagnete 462
J) Schalttafelmeßinstrumente 462

Digitized by Google

Zweiter Teil.

Unterlagen für die Projektierung elektrischer Anlagen.

Seite

1. Bestimmung des Konsums 467
2. Totale Anlagekosten 477
3. Anlagekosten im Einzelnen 479
4. Platzbedarf (Grundfläche pro KW) 485
5. Zahl der Einheiten; Tourenzahl der Antriebsmaschinen 487
6. Platzbedarf der Antriebsmaschinen 491
7. Gewichte der Antriebsmaschinen 498
8. Preise der Antriebsmaschinen 499
9. Zubehör zu Maschinen 503
10. Dampfkessel 505
11. Schornsteine 506
12. Zubehör zum mechanischen Teil der Kraftwerke 507
13. Wahl der Spannung 508
14. Elektrische Generatoren 509
15. Umformer und Transformatoren 513
16. Bleiakkumulatoren 514
17. Schalttafeln 516
18. Leitungen 517
19. Elektromotoren (Gleich- oder Drehstrom) 522
20. Installationsmaterialien 523
21. Materialkosten 525
22. Montage, Unkosten, Fracht etc., Liefertermine 528
23. Arbeitsmaschinen und Hebezeuge 529
24. Betriebskosten 531
    a) Totale Betriebskosten 531
    b) Jährliche Energieabgabe 532
    c) Brennmaterialien und Zubehör 533
    d) Preise 535
    e) Gehälter 535
    f) Ersatz der Glühlampen 535
    g) Betriebsausgaben der Zentrale pro nutzbare KW-Stunde . . . 536
    h) Einnahmen der Zentralen 537
    i) Tarife 538
    k) Anlage und Betriebskosten eines städtischen Kraftwerkes für 4000 KW_{max} und 5000 Volt einphasig 539
25) Elektrische Bahnen 541
    a) Daten pro 10000 Anwohner 541
    b) Kraftbedarf von Stadt- und Straßenbahnen 542
    c) Spannungsabfall 543
    d) Pufferbatterie und Akkumulatorenwagen 543
    e) Preise für elektrische Zentralen 544
    f) Anlagekosten pro km einfache Strecke 545
    g) Einzelpreise für die Wagen 550
    h) Elektrische Lokomotiven 552
    i) Strecke 553

Digitized by Google

Seite

k) Betriebsausgaben 555
1. Verzinsung, Abschreibung und Tilgung 555
2. Unterhaltungskosten pro Wagen und Jahr 555
3. Betriebsausgaben pro km Strecke und Jahr 556
4. Betriebskosten pro Wagen-km 557
5. Einnahmen 561
6. Beispiel für die gesamten Anlage- und Betriebskosten (Bostoner Hochbahn) 561
7. Elektrische Bergbahnen 562

Anhang zum ersten Teil 564
Anhang zum zweiten Teil 569
Sachregister 570

Digitized by Google

Erster Teil.

Schaltanlagen und Apparate.

Digitized by Google

Digitized by Google

I. Schaltanlagen.

1. Uebersicht[1]).

Die große Bedeutung einer sachgemäß durchgeführten Schaltanlage für die dauernde Betriebssicherheit eines elektrischen Kraftwerks hat sich heute wohl allgemein in der Elektrotechnik Bahn gebrochen. Den ungeheuren Fortschritt auf diesem Gebiet beleuchtet besonders grell ein Vergleich der ganz alten wohl schon vergessenen Anlagen, in denen für die Schalttafel überhaupt kein besonderer Raum gestattet wurde, sondern der einpolige Schalter, die einpolige Sicherung und die als Voltmeter dienende Glühlampe auf dem Dynamogehäuse montiert waren, mit den riesigen mehrstockigen Schalthäusern unserer neueren Hochspannungsanlagen, worin die Schaltanlage an Bodenfläche fast die Maschinenanlage übertrifft. In den Fachzeitschriften sind wohl häufig elektrische Licht- und Kraftwerke einschließlich ihrer Schaltanlagen eingehend beschrieben worden, im folgenden soll jedoch eine vergleichende Uebersicht der verschiedenen Bauarten von Schaltanlagen an sich gegeben werden.

Die wesentlichen Bestandteile einer Schaltanlage sind:

1. Anschlüsse der Zuleitungen von den Generatoren und Motoren sowie zu den Speisern (Speiseleitungen);
2. Sammelschienen, an welchen genannte Anschlüsse vereinigt werden;
3. Schalter zum Zu- und Abschalten einzelner Generatoren (Motoren) und Speiser einschließlich der Trennschalter, um die Sammelschienen und die ganze Schaltanlage in einzelne Abschnitte teilen zu können;
4. selbsttätige Sicherheitsunterbrecher, die bei unzulässigen Strom- und Spannungsverhältnissen in Wirksamkeit treten: Sicherungen, selbsttätige Ausschalter mit Maximal- und Minimalrelais

[1]) Beim Entwerfen von Schaltanlagen und Apparaten sind die verschiedenen Normalien, Leitsätze und Vorschriften des Verbands deutscher Elektrotechniker zu beachten; sie sind von G. Kapp zusammengestellt.

Digitized by Google

oder mit Zeitrelais, Stromumkehrrelais etc.; Ueberspannungssicherungen; Blitzableiter; hierzu können auch farbige Kontrollampen und Kontrollläutewerke gerechnet werden;

5. Meßinstrumente zur Ermittlung der Stromstärken, Spannungen, Leistungen, Energiemengen, des Leistungsfaktors, der Polarität und der Periodenzahl in den verschiedenen Stromkreisen; Phasen- und Periodenvergleicher zum Parallelschalten;
6. Regulierapparate zur Einstellung der Spannung: Feldregler, Zellenschalter; Anlasser; Verstellvorrichtungen der Maschinenregler (von Dampfmaschinen etc.);
7. ein Gerüste, das die genannten Einrichtungen in betriebssicherer und übersichtlicher Weise vereinigt.

Die Einteilung der Schalttafeln kann nach einer Reihe von Gesichtspunkten erfolgen:

a) Nach der Spannung:
   1. Schaltanlagen für ganz niedere Spannungen unter 100 Volt und hohe Stromstärke, wie sie in elektrochemischen und hüttentechnischen Betrieben vorkommen;
   2. solche für mittlere Spannungen von 100—1000 Volt;
   3. Hochspannungsanlagen für über 1000 bis gegen 80000 Volt.

b) Nach der Stromart: Gleichstrom-, Drehstrom- und Einphasenschalttafeln, Schalttafeln für konstante Spannung oder für konstanten Strom (Bogenlampen oder Thurys Kraftübertragung).

c) Nach der Verwendung: In Schalttafeln
   1. für Primärstationen,
      für Licht,
      für Kraft,
      für Bahnen,
      für elektrochemische Zwecke;
   2. für Unterstationen
      mit Gleichstrombetrieb (Akkumulatoren),
      mit Drehstrom-Gleichstromumformern,
      mit reinem Drehstrombetrieb (einfache Transformatorenhäuser).
   3. für Sekundäranlagen (Stromverbraucher), z. B. Motorschalttafeln für Transmissionsantriebe, Hebezeuge, Fördermaschinen, Walzwerke, ferner
      Verteilungstafeln für Lichtanlagen.

In großen Anlagen trennt man wohl auch in
1. Generatorschaltanlage,
2. Speiserschalttafel,
3. Erregerschalttafel.

Digitized by Google

Die verschiedenen Teile einer Schaltanlage können dienen zur Ausführung der erforderlichen Schaltungen und Messungen an Generatoren, Erregern, Motoren, Umformern, Speisern, Akkumulatoren, zum Parallelschalten, sowie zur Ermöglichung einer Uebersicht über die ganze Schaltanlage (Sammelfeld).

d) Nach dem Aufbau läßt sich einteilen in:

1. Einfache Flachschalttafeln,
2. mehrfache Flachschalttafeln,
3. mehrstöckige Schaltanlagen,
4. Wandschalttafeln,
   α) kleine Motorwandtafeln,
   β) Zellenschalttafeln,
5. Säulenschaltanlagen oder Schaltsäulen,
6. Pultschalttafeln,
7. bewegliche Schalttafeln,
   α) drehbare,
   β) fahrbare,
8. Schaltkästen.

Dieser Aufbau soll etwas ausführlicher erörtert werden:

2. Aufbau der Schalttafeln[1]).

1. Nahe der Gebäudewand wird beim Aufbau der einfachen Flachschalttafeln ein Winkeleisengerüst erstellt, auf dem Tafeln aus weißem

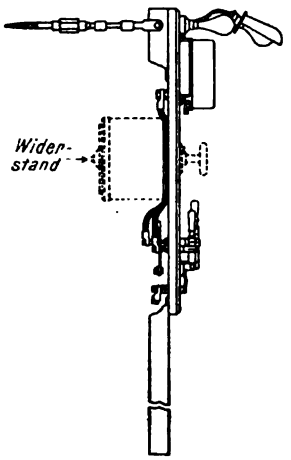
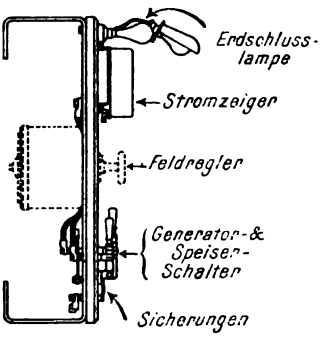


Fig. 1.



Marmortafel 400×900 mm. Gewicht 220 kg.

Fig. 2.

General Electric Co.

[1]) Die Schalttafeln von Brown, Boveri & Cie., der Maschinenfabrik Oerlikon, der E.-G. Alioth sind in einem besonderen Kapitel besprochen.

Digitized by Google

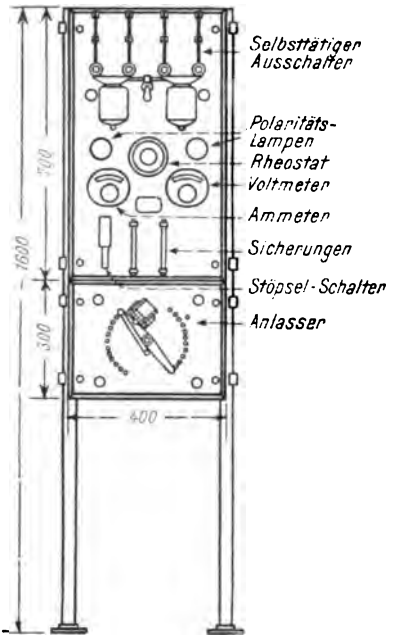


Fig. 3.

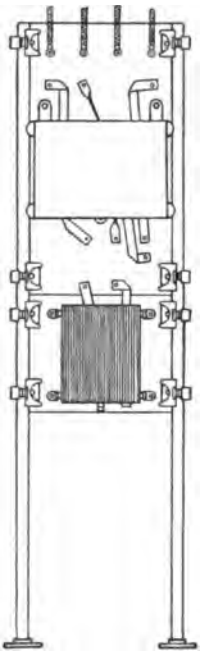


Fig. 4.

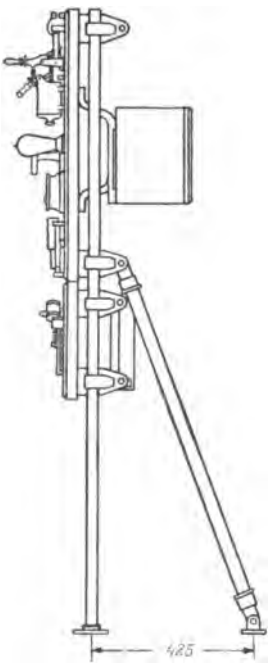


Fig. 5.

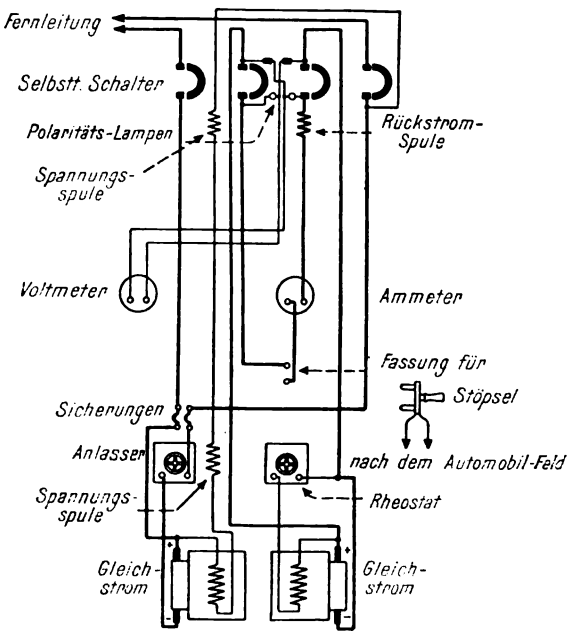


Fig. 6.

Ladefeld der General Electric Co.

Digitized by Google

bläulichem oder rötlichem Marmor oder bei Spannungen unter 2000 Volt aus Schiefer oder aus Xylolith montiert werden; auf der Vorder- und Rückseite dieser Tafeln sitzen sämtliche Apparate und Instrumente. Diese Type ist für niedergespannten Gleichstrom, sowie auch für kleinere Wechselstromanlagen bis gegen 2000 Volt üblich. Die Fig. 1 bis 34 zeigen

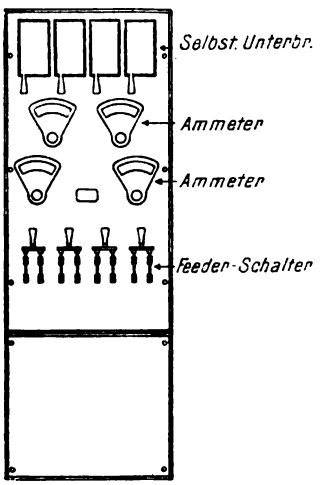


Fig. 7.

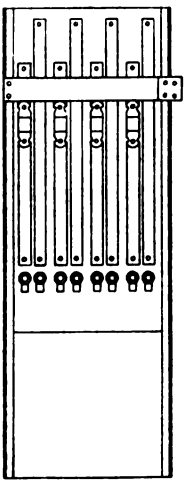


Fig. 8.

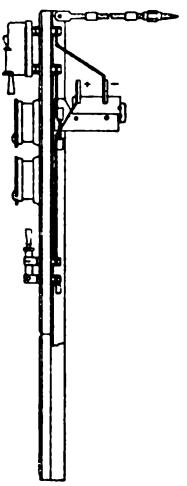


Fig. 9.

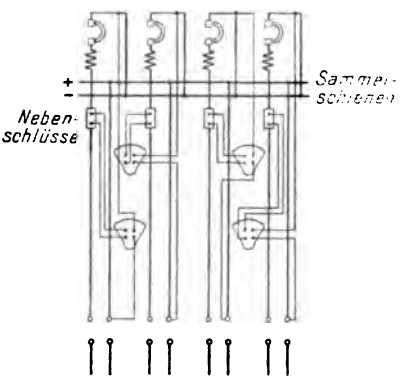


Fig. 10.

Speiserfeld der General Electric Co.

eine Reihe solcher einfachen Schalttafeln bezw. Schaltfelder für Gleichstromgeneratoren, Gleichstromspeiser sowie für Wechselstromanlagen und Netze mit Bogenlampen, die mit konstanter Stromstärke gespeist werden.

Das einfache Schaltfeld der Fig. 1 u. 2 der Gen. El. Co. Schenectady mit einer Marmortafel 400 × 900 mm und einem Gesamtgewicht

Digitized by Google

von 220 kg ist für ganz kleine Anlagen bestimmt und enthält sämtliche Apparate für den Generator und die Speiser. Der Winkeleisenrahmen wird entweder durch eine verstellbare Stange, die mit einem Drehzapfen befestigt ist, an der Gebäudewand festgehalten (Fig. 1) oder aber mit Hilfe von Flacheisenarmen (Fig. 2). In Fig. 3 bis 6, welche Anordnung zum Laden von Selbstfahrern vermittels eines Motorgenerators verwendet

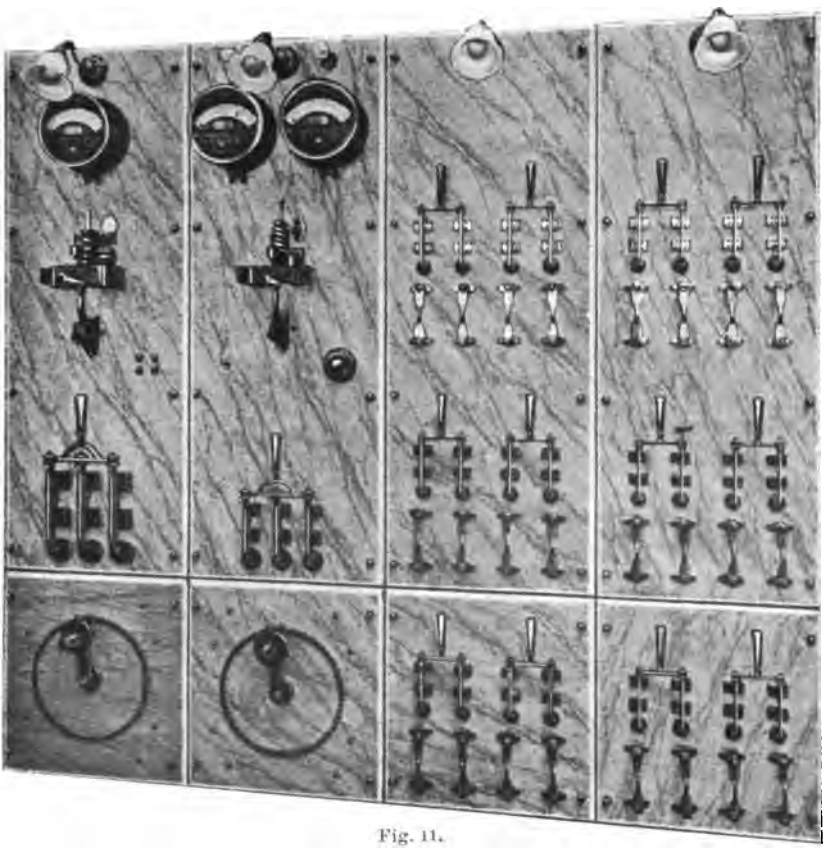


Fig. 11.
Generator- und Speisertafeln der Westinghouse Co.

wird, ist das ganze Gerüste aus Röhren unabhängig von der Wand aufgebaut. Das Schaltbrett (Fig. 7 bis 10) gestattet vier Speiser zu versorgen. Es ist deutlich die Lage der beiden auf Konsolen befestigten Sammelschienen ersichtlich. Durch das zugefügte Schaltschema ist eine Orientierung leicht möglich. Die Schalttafel (Fig. 11) der Westinghouse Co. aus gestreiftem Marmor für Spannungen unter 750 Volt enthält zwei Generatorfelder und zwei Speiserfelder mit je sechs Speisern, die je mit einem doppelpoligen Ausschalter und einer doppelpoligen Sicherung versehen sind. Auf den ersten Feldern ist ein Amperemeter (ein Volt-

Digitized by Google

meter), ein Lampenarm, ein Erdschlußprüfer (2 Lampen), ein Nebenschlußrheostat, ein Voltmeterstöpsel, ein dreipoliger Schalter (Compounddynamo) und ein automatischer Unterbrecher untergebracht. Das Schaltfeld (Fig. 12 u. 13) enthält sämtliche Apparate für einen Nebenschlußgenerator und vier Speiser; die Sicherungen S für den Generator sind auf der Rückseite auf einem Flächeneisenbügel montiert, die Sicherungen T für die Speiser dagegen vorne unter den Speiserschaltern F.

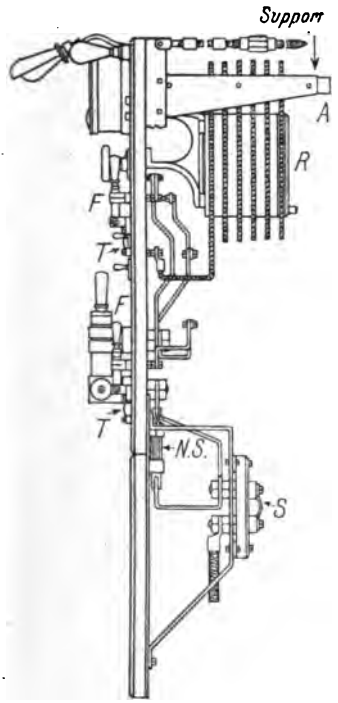


Fig. 12.

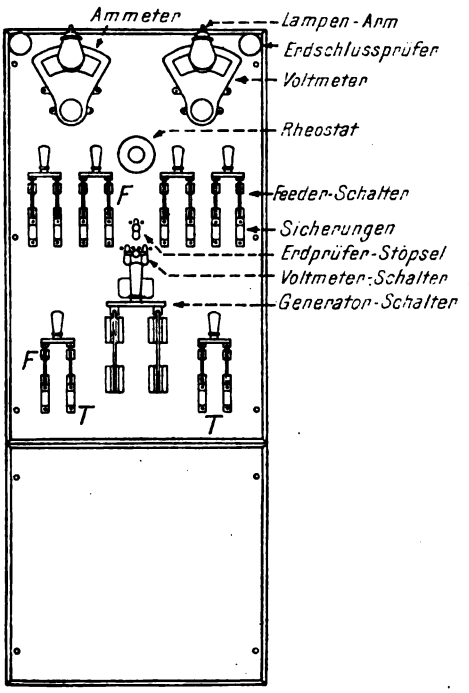


Fig. 13.

General Electric Co.

Auf der Konsole A werden die Leitungen mittels Isolierrollen festgelegt; NS sind die Nebenschlüsse für die Strommesser. In der Schalttafel (Fig. 14 bis 17) für eine elektrische Bahnanlage mit Compounddynamo ist nur der Minuspol der Maschine zur Schalttafel geführt, während die Plusschiene und die Ausgleichsschiene auf einer Schaltsäule S an der Maschine geschaltet werden[1]). Man beachte auch das an einem Dreharm befestigte Voltmeter mit Skalenbeleuchtung. Einige schmale Felder für die Speiser von Straßenbahnen sind in Fig. 18 bis 22 abgebildet, wobei auf die Anbringung einer Blitzschutzspule C (Fig. 20) sowie auf

[1]) Auf dem unteren freien Feld 700 $\times$ 600, Fig. 14, sitzt in der Regel ein Zähler.

Digitized by Google

die Befestigung der Sammelschiene SS, der Erdschiene (Fig. 20) und der Kupferdrahtsicherungen Si (Fig. 21) mit Schutzwänden hingewiesen

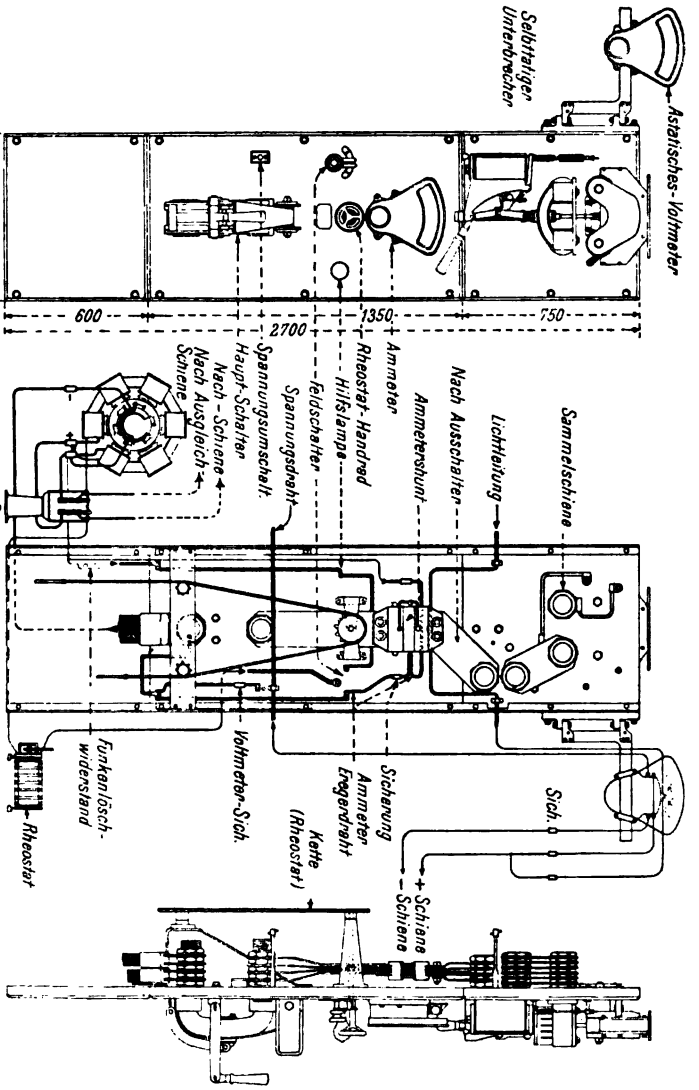


Fig. 14.

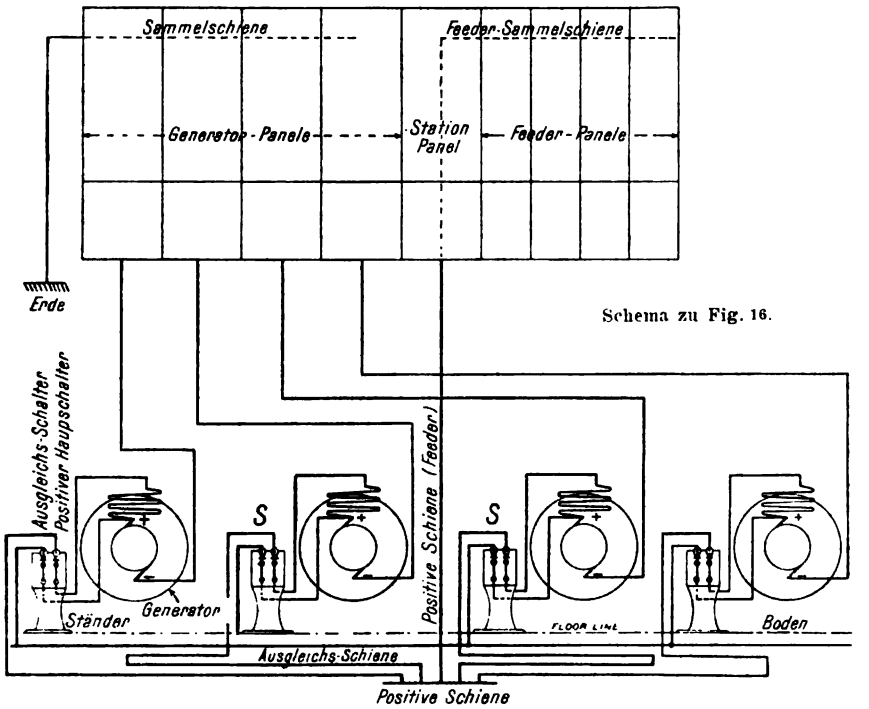
Fig. 15. Bahnschalttafel der General Electric Co.

Fig. 16.

sei. V sind Arme mit Klemmen zur übersichtlichen Befestigung der Meßdrähte und E Aufschriften zur Bezeichnung der betreffenden Speiser.

Die Ausführung einer Normalschalttafel für eine Nebenschlußdynamo mit Akkumulatorenbatterie der Union E.-G. entspricht der Fig. 23 mit zwei Feldern und folgenden Bestandteilen:

Digitized by Google



Schema zu Fig. 16.

Fig. 17. Bahnschalttafel der General Electric Co.

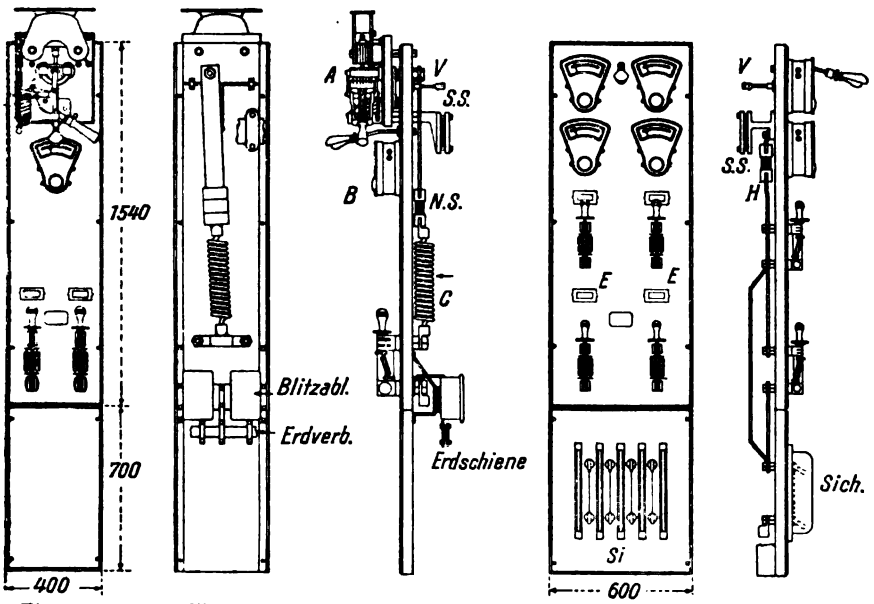


Fig. 18. Fig. 19. Fig. 20. Fig. 21. Fig. 22.

General Electric Co.

Digitized by Google

Wd = Wandarm mit Hahnfassung
A = Amperemeter
V = Voltmeter
Hd = Handrad
Na = Feldausschalter
A_2 = zweipoliger Ausschalter
U_2 = zweipoliger Umschalter
Min. A = Automatischer Minimalausschalter
DZ = Doppelzellenschalter
VU = Voltmeterumschalter
FL = Funkenlöschwiderstand
S = Sicherung
SA = Stromrichtungszeiger
S_aS_a = Sammelschiene.

Die Kupferverbindungen bestehen bei 100 Ampere aus Runddraht von 8 mm Durchmesser, bei 300 Ampere aus Schienen von 34 × 4 mm.

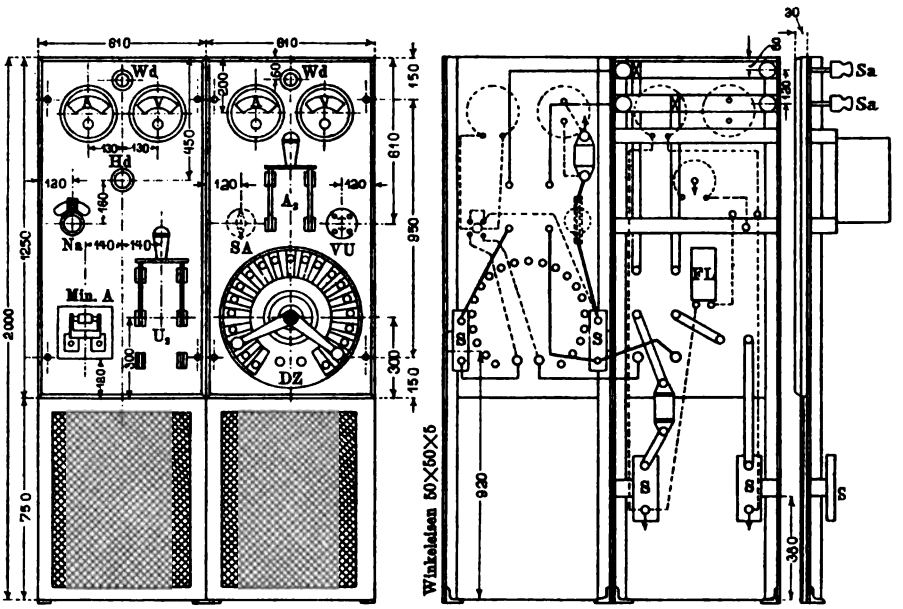


Fig. 23. Union E.-G.

Die zwei Durchschnitte Fig. 24 und 25 gehören zu einer von Erlacher entworfenen Schalttafel für 250 Volt Gleichstrom mit Batterie. Die Fig. 24 zeigt die Sammelschienen S in Porzellanklemmen, den Zellenschalter F und den Nebenschlußregulator N mit Kegelradantrieb, die Fig. 25 dagegen den Maschinenumschalter U und die Speiserregler S (Hauptstromwiderstand), J sind die Instrumente, P ist perforiertes Blech.

Für Drehstrom (Fig. 26 bis 30) wird der Aufbau der Flachschalttafeln ziemlich gedrängt, wie das besonders Fig. 26 [1]) zeigt, worin der Feldregler neben einem Hochspannungstransformer und den Hochspannungssicherungen liegt. Der Hauptschalter und die Sammelschienen liegen oberhalb der Schalttafel. Zu jedem Feld führt rückwärts eine

[1]) Nach Clothier, Construction of High-tension switchboards; 1902, Soc. El. Eng., Manchester.

Digitized by Google

Türe aus perforiertem Blech. Das Schaltfeld[1]) (Fig. 30) der Westinghouse Co. wird für Zweiphasenanlagen mit geerdeter Rückleitung bis 2500 Volt gebaut. Ganz oben sitzen zwei durch Marmorwände getrennte Hebelschalter A, die durch einen Handgriff betätigt werden. E ist ein Amperemeter für Wechselstrom; F für Gleichstrom; CBD sind Lampen für die Beleuchtung und zum Synchronisieren; GGH Voltmeter,

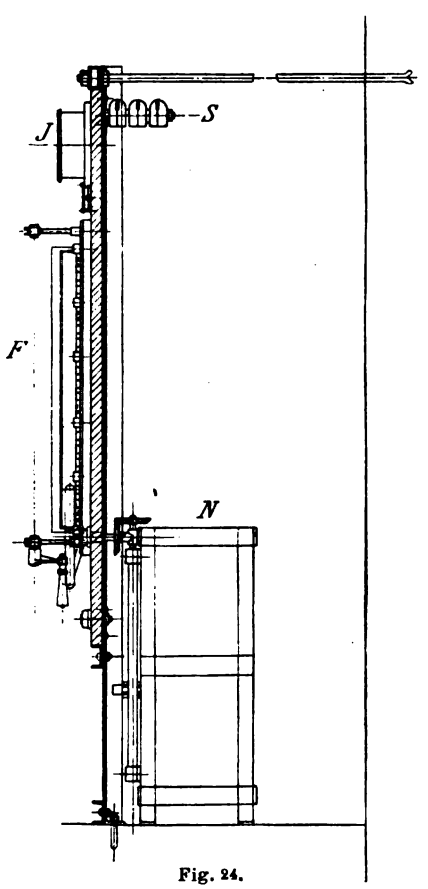


Fig. 24.

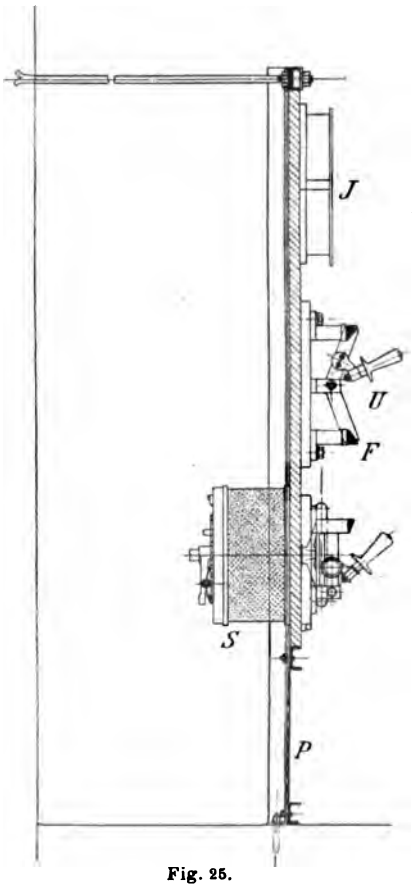


Fig. 25.

Schalttafel von Erlacher.

H zum Parallelschalten; K der Nebenschlußregler; J und L Voltmeter- und Synchronisierschalter; M der Feldausschalter; N der Synchronisierstöpsel; O ein Oelumschalter zum Umschalten auf die beiden Sammelschienensysteme und P ein Zähler. Ein dreiphasiges Speiserfeld der Westinghouse Co. mit drei Amperemetern, einem Hochspannungsschalter und drei Sicherungen zeigt Fig. 31. Die Schalttafel (Fig. 27

[1]) Electrician, 11. Dez. 1903.

Digitized by Google

bis 29) wird von der Gen. El. Co. für 2500 Volt Drehstrom und 130 Ampere gebaut. Die Hauptschalter sitzen vorne und sind mit vier Schutzwänden versehen; die drei Hauptsicherungen sind oben am Schaltfeld montiert.

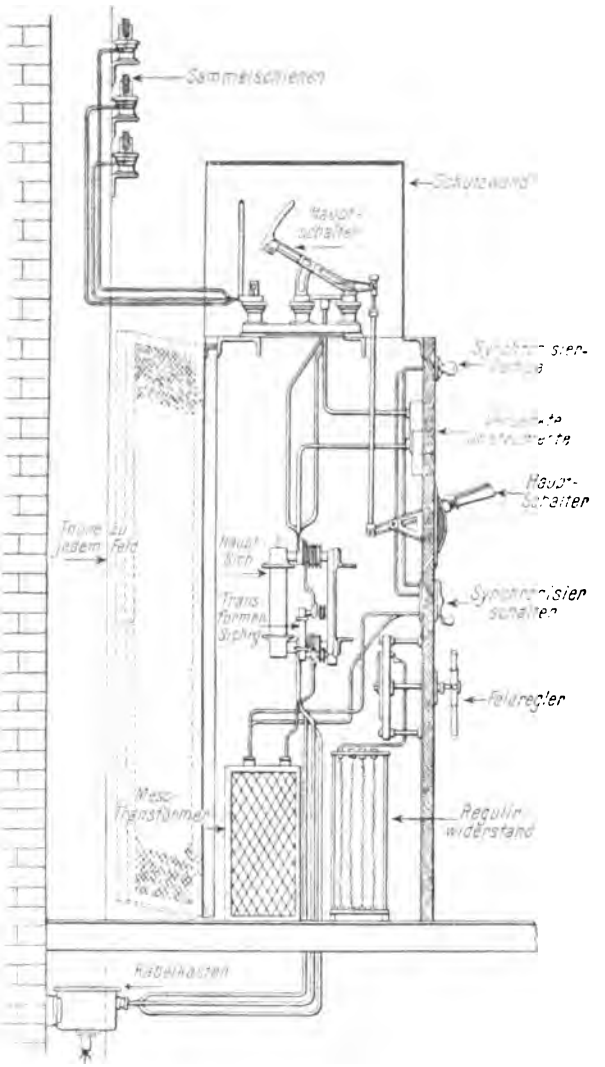


Fig. 26. Alte Flachschalttafel.

Die Ges. für elektrische Industrie Karlsruhe führt für Hochspannungsgeneratoren z. B. bei 2500 Volt das in sich abgeschlossene Schaltfeld nach Fig. 32 in Kastenform aus. Dessen Bestandteile sind sämtlich in folgender Stückliste enthalten:

Digitized by Google

Stückliste.

Bezeichnung	Benennung	Stück	Material	Bemerkungen
A	Schalttafel	1	weißer Marmor	700 × 1150 × 30
B	Schrauben 1/2"	4	Schmiedeisen	1/2"
C	Elektromagnetisches Amperemeter . . .	1	30 Ampere, 60 Perioden	
D	Stromwandler	1	30/1 Ampere	
E	Elektromagnetisches Voltmeter	1	Skala 2500	
F	Spannungswandler	1	2500/110 Volt	
G	Hochspannungsschalthebel	1		100 Ampere, 6000 Volt
H	Wandarm	1	mit Lampe 16 NK	verziert, auf Lager
J	Drehschalter	1	zweipolig, 3 Ampere	
K	Sicherung	1	zweipolig, 1 Ampere	
L	Hochspannungssicherung	1	20 Ampere, 2500 Volt	zweipolig
M	Nebenschlußregulator	1		
N	Verbindungsleitungen	diverse	Rundkupfer	5 mm Durchmesser
O	Hochspannungsisolatoren	2	Porzellan	

Digitized by Google

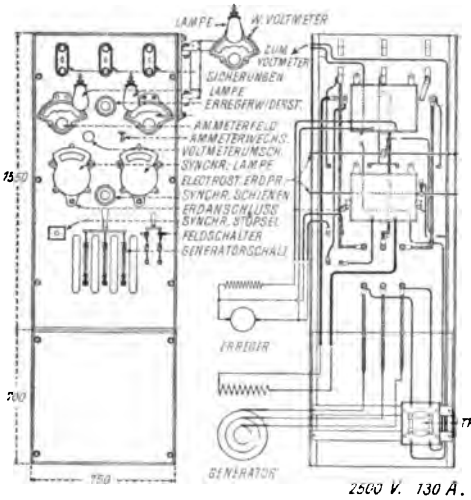


Fig. 27 [1]).

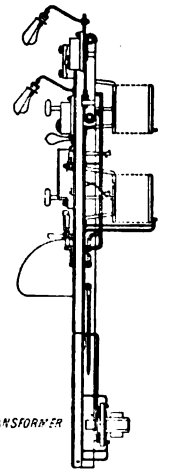


Fig. 28.

Fig. 29.

General Electric Co.

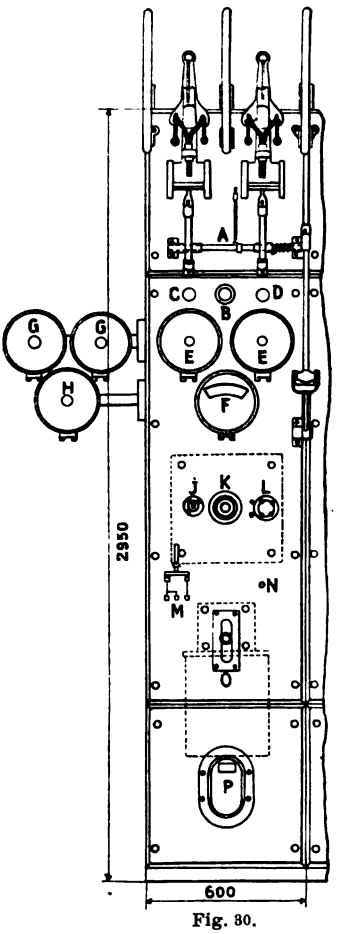


Fig. 30.

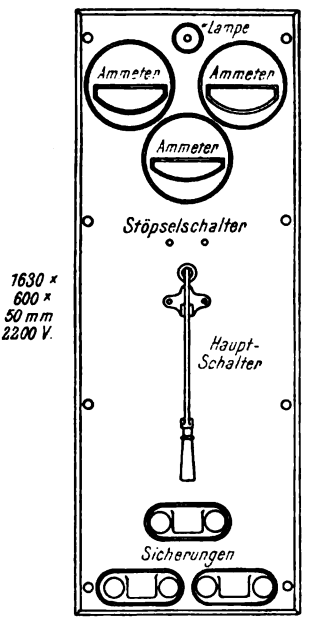


Fig. 31.

Westinghouse Co.

[1]) Die Bezeichnungen in Fig. 27 u. 28 sind von „Ammeterfeld“ bis „Synchr.-Schienen“ um eine Zeile in die Höhe zu schieben, dann ist „Feldrheostat“ einzuschieben.

Digitized by Google

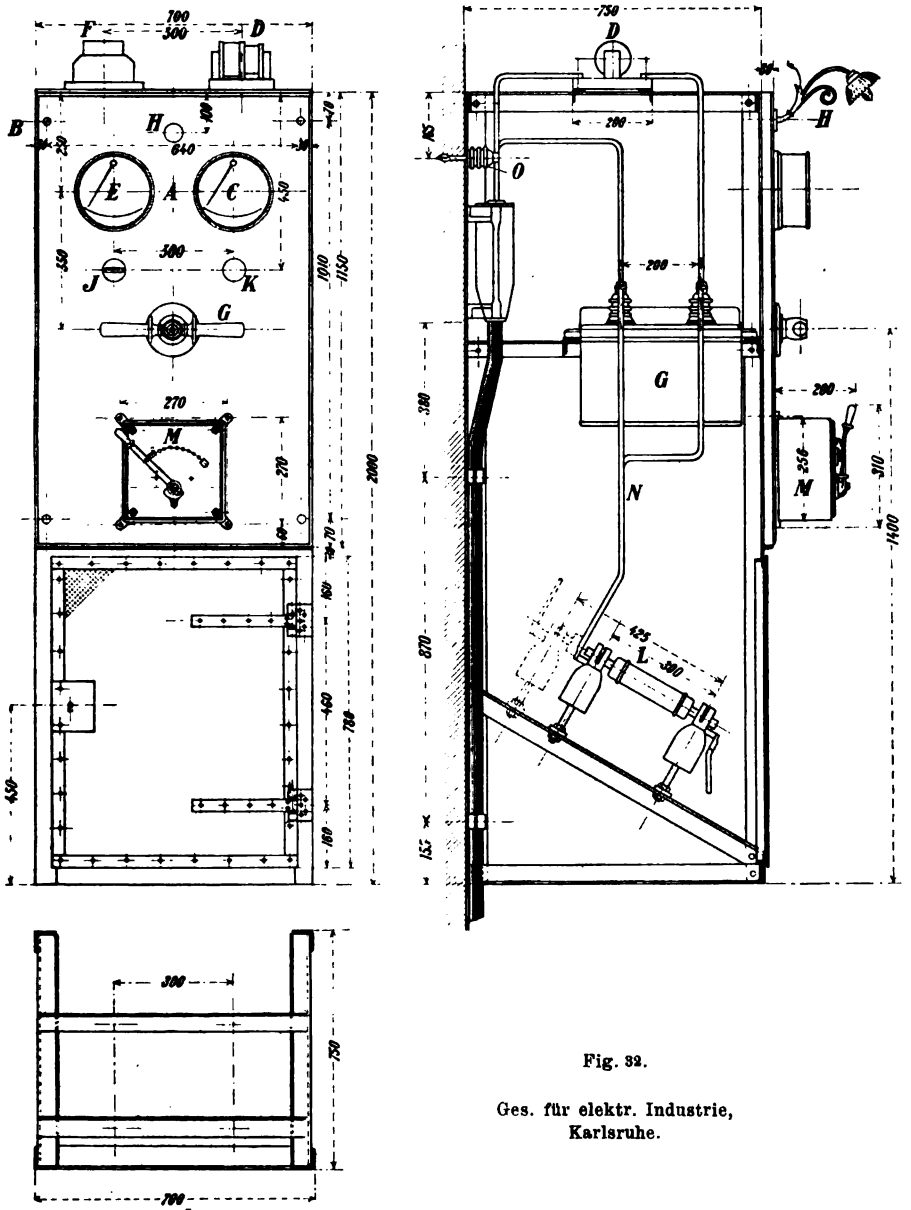


Fig. 32.

Ges. für elektr. Industrie, Karlsruhe.

Die Bestandteile einer Normalschalttafel für einen 100pferdigen, 220 Voltinduktionsmotor sind beispielsweise die folgenden:

1 Marmortafel 900 × 350 × 30 mm, Kanten gebrochen und poliert,
1 Hitzdraht-Ammeter für 500 Ampere,
1 dreipoliger Ausschalter für 400 Ampere 500 Volt,
3 einpolige Sicherungen für 450 Ampere Type ,

Digitized by Google

9 Patronen dazu für 375 Ampere Type ,
2 Flacheisenbügel 50 × 8 mm, lang 1100 mm, 100 mm Schenkellänge,
6 Kabelschuhe Type .
Kupfer 40 × 4 mm ca. 1 m.
Firmenschild Nr. .
Für die Anordnung der Apparate ist das Schema Nr. maßgebend.

Fig. 33 a.

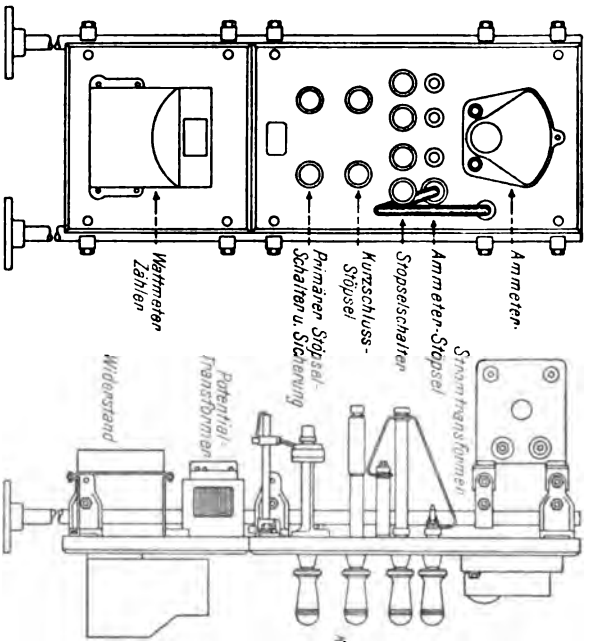


Fig. 33 b.

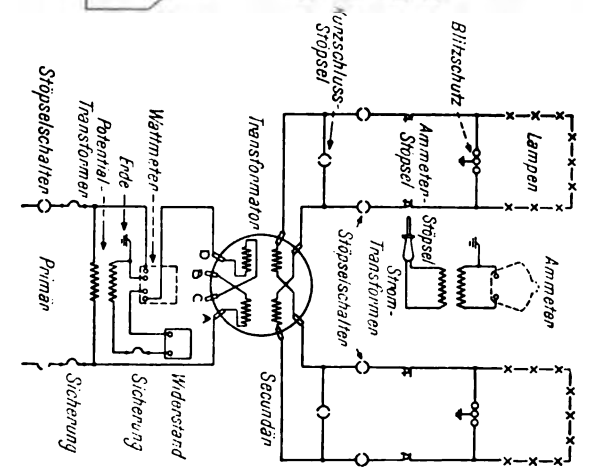


Fig. 33 c.

Bogenlampenschalttafel der General Electric Co.
Für 1100 Volt verbinde BD und CA
„ 2200 „ „ BC

Schließlich ist in Fig. 33 noch ein Schaltfeld für die in Amerika sehr verbreitete Versorgung von Bogenlampen mit konstantem Strom bei Spannungen bis 10 000 Volt gezeichnet. Der Strom von konstanter Spannung wird in einem Transformator mit beweglichen Sekundär-

Digitized by Google

spulen in konstanten Strom umgesetzt. Beachtenswert an der Schalttafel (Fig. 33) sind besonders die verschiedenen Stöpselschalter.

2. Für höhere Spannungen und große Leistungen greift man meist zu den mehrfachen Flachschalttafeln. Dabei verläuft parallel zu der unter 1. besprochenen Schaltwand durch einen Bedienungsgang davon getrennt eine zweite Wand oder ein Gestell, an dem die eigentlichen Schalter, Sicherungen und Hochspannungsanschlüsse angebracht sind, während an der vorderen Bedienungswand nur Handgriffe zur indirekten Bedienung der Schalter und Regulatoren sowie Meßinstrumente

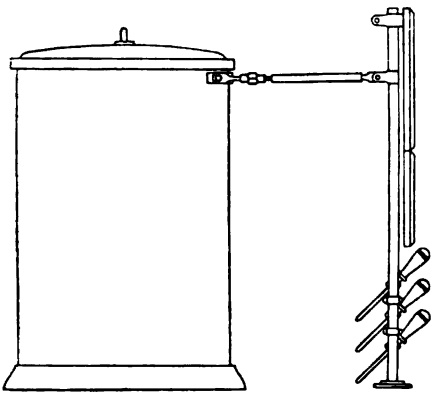


Fig. 33 d. Bogenlampenschalttafel der General Electric Co.

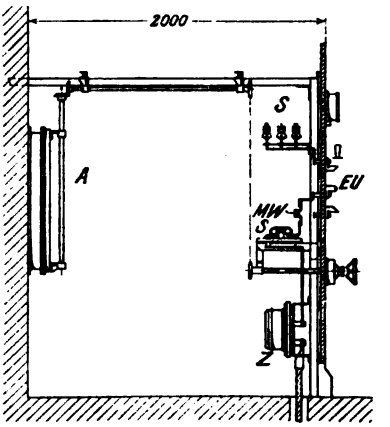


Fig. 34. Technische Hochschule Darmstadt.

vorgesehen sind, welche in (geerdeten) Niederspannungskreisen von Meßtransformatoren liegen. Eine Reihe solcher Schalttafeln[1]) sind in Fig. 34 ff. dargestellt.

Dem einfachsten Fall der mehrfachen Flachtafel entspricht die Mitbenutzung der rückwärtigen Wand nach Fig. 34, worin die Zellenschalter A und Anlasser durch Ketten- und Kegelradtrieb betätigt werden. Fig. 34 ist nach Prof. Sengel ein Durchschnitt durch eine Schalttafel der Technischen Hochschule Darmstadt für eine Dreileiter-Gleichstromanlage: S = Sammelschienen, EU = einpoliger Umschalter, MW = Meßwiderstand, S = Sicherungen auf einer Konsole, Z = Zähler. In der aus Electrician 1903 entnommenen Schalttafel (Fig. 35) sind die Meßinstrumente y versenkt, der Hochspannungsschalter A ist ein Messerschalter mit Funkenzieher Z; B sind Trennschalter in den doppelt ausgeführten Sammelschienen; auf C liegen die Nebenschlüsse für die Strommesser, D sind Sicherungen mit Hörnerlöschung, X ist ein Kabel-

[1]) Siehe auch Niethammer, Mod. Ges. f. d. Entw. elektr. Masch. u. App. Fig. 220.

Digitized by Google

endverschluß, E ein Profilamperemeter, F ein Meßtransformator und H eine Sicherung für die Meßinstrumente. Mit Hilfe der Steigleiter G ist der obere Gang zu erreichen. Die Gesellschaft Cowens (El. Rev. Lon-

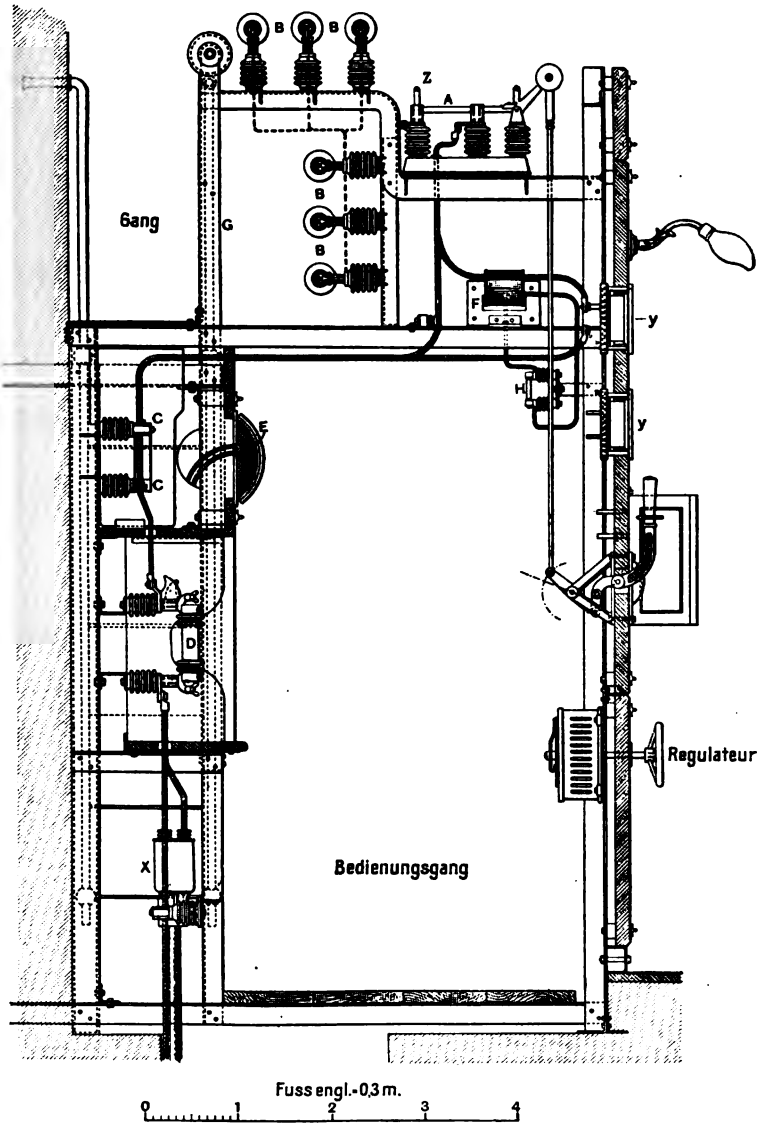


Fig. 35.

don 1904) hat (Fig. 36) für die Sammelschienen S oberhalb der Schaltwände besondere Kammern vorgesehen und ebenso abgedeckte Räume R für die Oelschalter O. Die Schaltanlage[1]) (Fig. 37) ist aus einer ganzen

[1]) Nach Eborall. Engineering 1903.

Digitized by Google

Zahl paralleler Wände aufgebaut; an der vordersten Bedienungswand, die im Maschinenraum erhöht angebracht ist, befinden sich die Meßinstrumente a, die Handgriffe b [1]) für die Oelschalter samt den Ueberlastrelais c, die Handräder d für die Feldregler, die auf der rückwärtigen Seite der Gebäudewand montiert sind, sowie die Erregersammelschienen e und ein Funkenlöschwiderstand g. Die Uebertragung zum Feldregler geschieht durch zwei Kettenübersetzungen, zu den Oelschaltern durch eine lange Stange. Die Hochspannungsapparate sind beiderseits

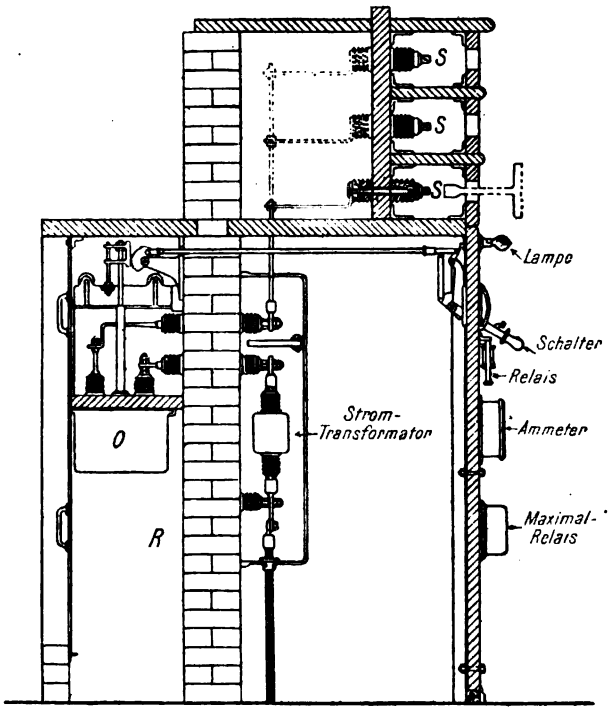


Fig. 36.

an einer besonderen Wand befestigt, auf der einen Seite der Kabelendverschluß, die Strom- und Spannungstransformatoren sowie die Oelschalter; auf der anderen Seite liegen die Trennschalter und die Hochspannungssammelschienen. Zwischen den einzelnen Apparaten und Phasen sind Schieferwände eingeschoben. Ganz rückwärts stehen die Hörnerblitzableiter mit Wasserwiderständen, die zum Ausgleich von Ueberspannungen in den Fernleitungen dienen. Die Schaltanlage (Fig. 38 bis 42) ist von der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vorm. Lahmeyer & Co. für den Eschweiler Bergwerksverein ausgeführt. Die Apparate und Materialien sind in der Stückliste verzeichnet:

[1]) Mit Schnappfeder f.

Digitized by Google

Apparatenverzeichnis.

Position	Stück	Gegenstand	Ampere	Volt
A	2	Amperemeter, Wechselstrom	10	—
B	1	Voltmeter, Wechselstrom	—	20—100
C	1	Amperemeter, Wechselstrom	200	—
D	1	Amperemeter, Gleichstrom	10	—
E	5	Phasenlampen	70	—
F	1	Drehknopfschalter	—	—
G	1	Voltmeterumschalter	—	—
H	2	dreipolige Hochspannungsausschalter	60	5500
J	12	einpolige Hochspannungssicherungen	10	5500
K	9	einpolige Ueberspannungssicherungen	—	—
L	9	Wasserwiderstände	—	—
M	2	Stromwandler	15—5	—
N	1	dreipolige Sicherung	200	—
O	3	dreipolige Schalter	200	—
P	2	einflammige Wandarme	—	—
Q	1	Drehknopfschalter	—	—
R	1	zweipolige Sicherung	2	—
S	1	Drehstromtransformator	—	—
T	2	Anlasser	—	—
U	1	Nebenschlußregulator	—	—
V	3	einpolige Hochspannungssicherungen	0,5	—
W	6	einpolige Hochspannungstrennschalter	10	5500

Stückliste.

Pos.	Stück	Gegenstand	Material	Bemerkungen
a	4	Marmorplatten	—	800 × 1450 × 30
b	1	„	—	400 × 1450 × 30
c	4	„	—	800 × 715 × 30
d	1	„	—	400 × 715 × 30
e	2	„	—	500 × 1400 × 30
f	1	„	—	500 × 800 × 30
g	18	Zwischenwände	Medusatil	
h	12	„	Asbestschiefer	
i	15	Isolatoren Nr. 200 mit Kappen	—	
k	33	„ Nr. 200 „ „	—	
l	15	„ mit normaler Stütze	—	
m	12	„ „ „ „	—	
n	ca. 48	Meter Rundkupfer 5,7 mm Durchm.	—	
o	„ 30	„ „ 3,6 mm „	—	
p	„ 15	„ Flachkupfer 41 × 5	—	
q	2	⌴-Eisen 55 × 42	—	290 mm lang
		Diverse Meßleitungen 2,5 qmm	—	

Digitized by Google

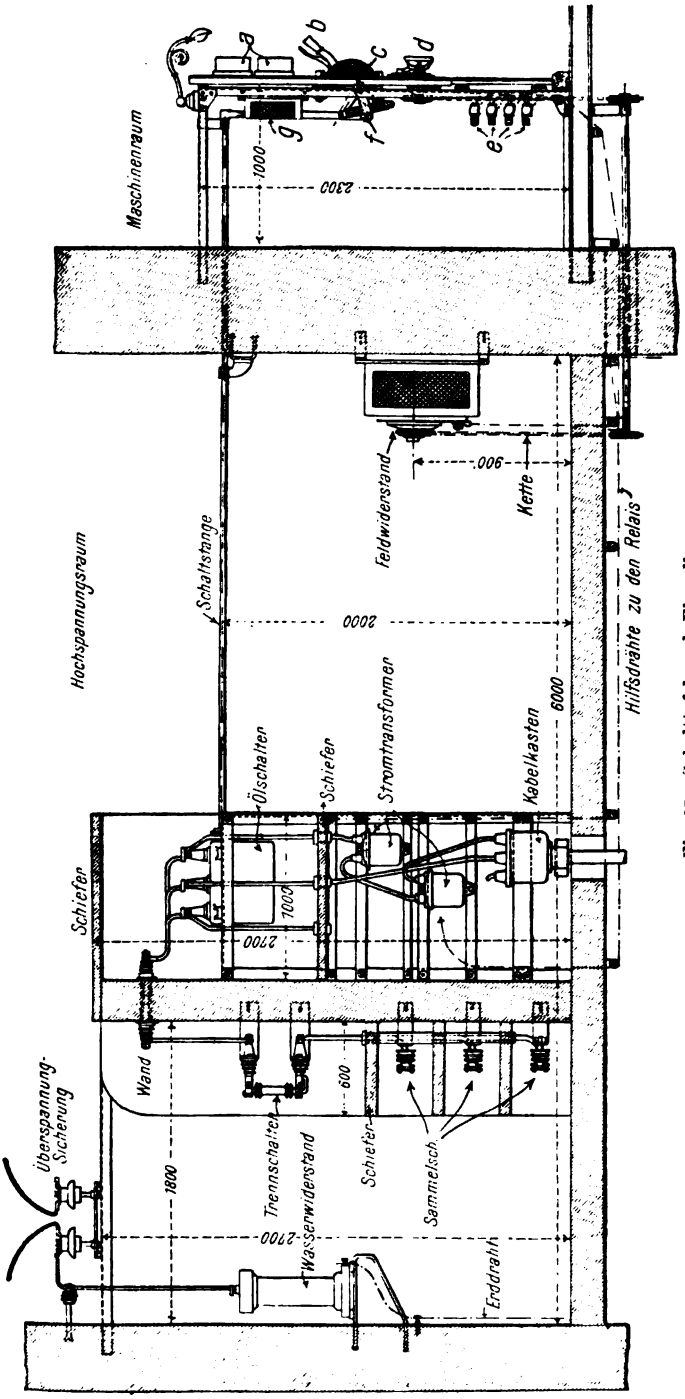


Fig. 37. Schalttafel nach Eborall.

Digitized by Google

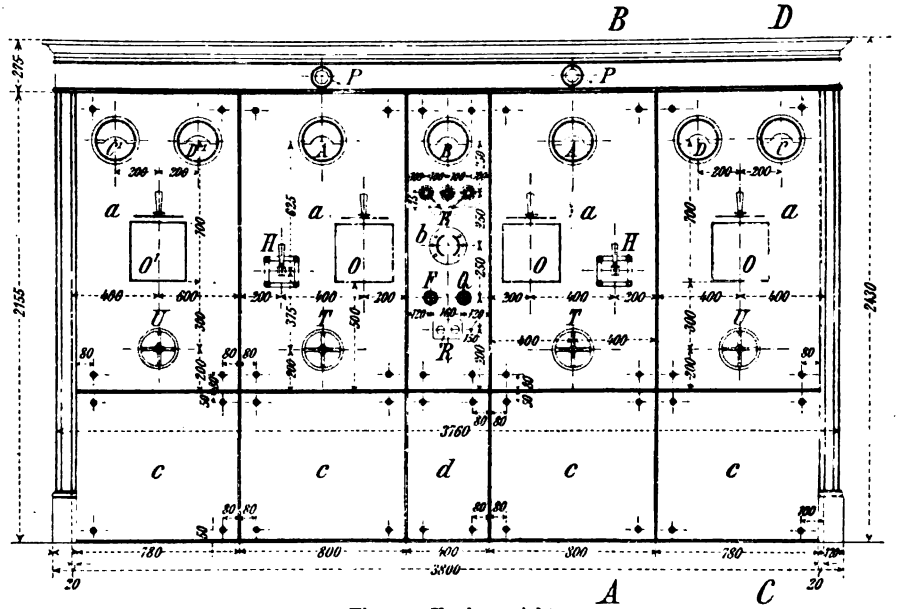


Fig. 38. Vorderansicht.

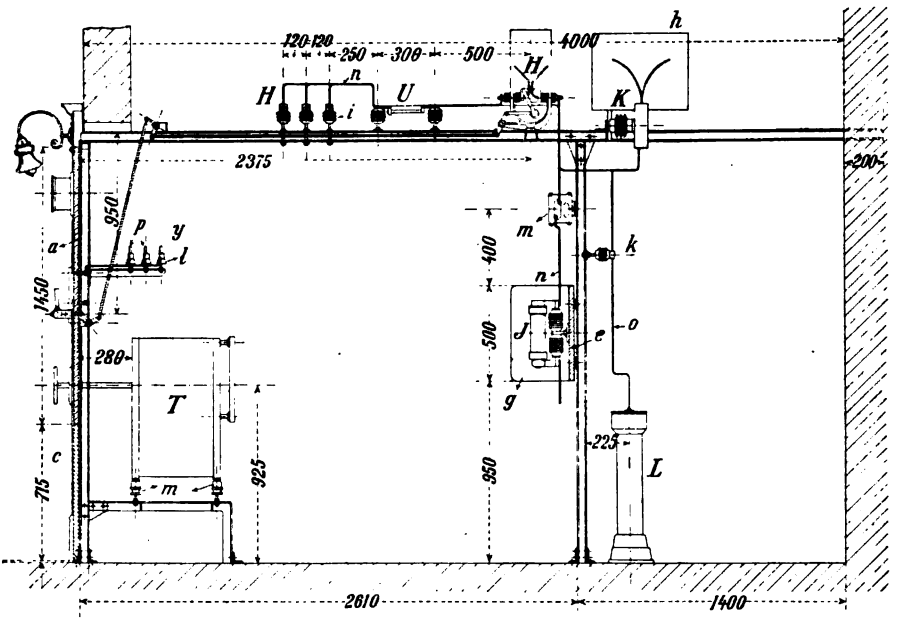


Fig. 39. Querschnitt AB.
Lahmeyer-Frankfurt.

Die Anlage (Fig. 38 bis 42) dient zur Schaltung zweier 80pferdiger Drehstrommotoren von 5500 Volt. Das zugehörige, sehr interessante Schaltungsschema ist mit denselben Bezeichnungen wie in den Schalt-

Digitized by Google

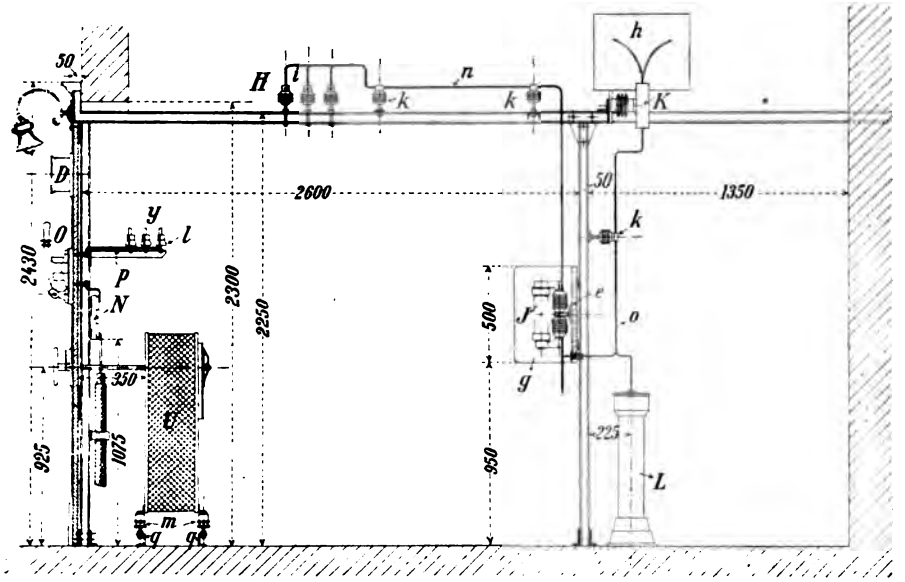


Fig. 40. Querschnitt DC.

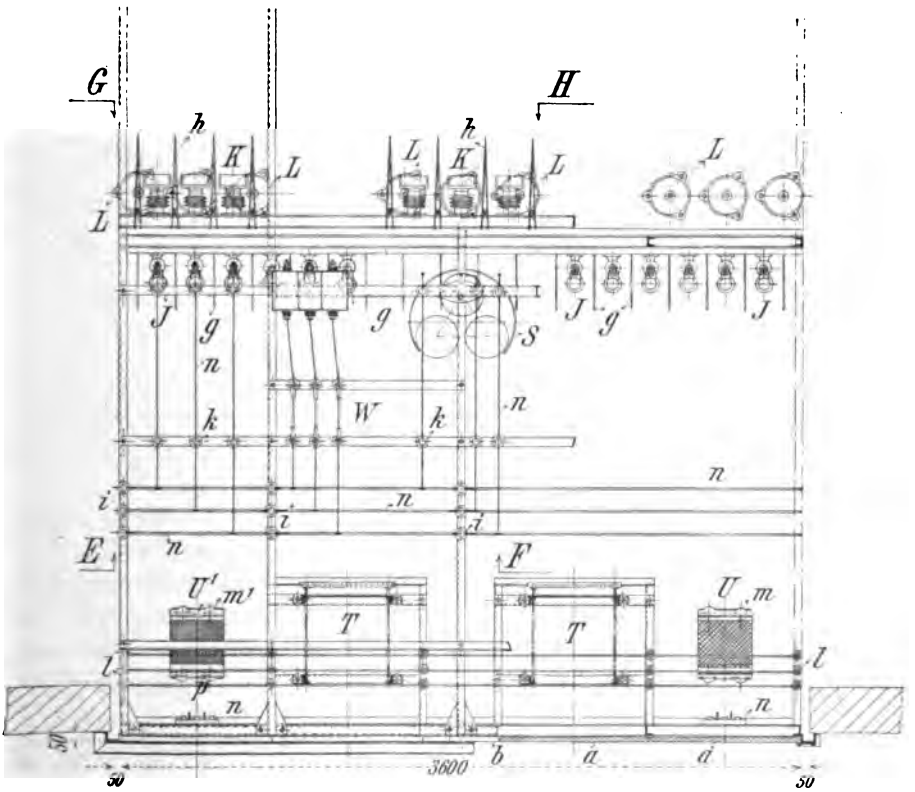


Fig. 41. Rückansicht.
Lahmeyer-Frankfurt.

Digitized by Google

tafelzeichnungen in Fig. 42 entworfen. Da die Tourenzahl dieser 16poligen Ventilatormotoren in rationeller Weise von 375 bis 300 pro Minute reguliert werden soll, so ist auf die Motorachse DHS VII eine 4polige Synchronmaschine N B XIV gesetzt, die bei 300 Touren 10 Perioden erzeugt, was gerade der Periodenzahl im Rotor des Induktionsmotors bei dieser Tourenzahl entspricht. Auf diesen Rotor ist

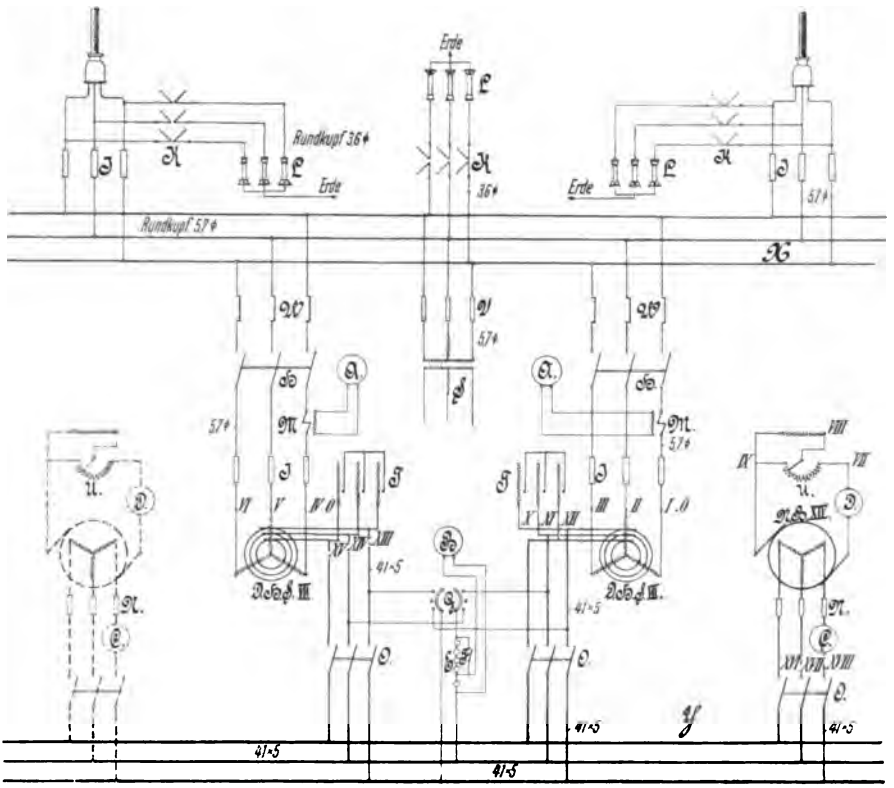


Fig. 42. Lahmeyer-Frankfurt.

nun der Synchrongenerator geschaltet, um die dort erzeugte Energie ins Netz zurückzuliefern. Die Synchronmaschine hat etwa ein Fünftel der Leistung des Asynchronmotors, Verluste in Widerständen treten bei der Regulierung nicht auf. Die Hochspannungssammelschienen sind in Fig. 42 mit X bezeichnet und die Niederspannungssammelschienen (Rotorschienen) durch y (Fig. 39). Als Blitzschutz und Spannungsausgleichsvorrichtung sind Hörner K aus abgebogenem Blech vorgesehen, die über Wasserwiderstände L in Röhrenform an Erde gelegt sind.

Die Vereinigte Elektrizitäts-A.-G. Wien hat eine 5000 Volt-Tafel (rechts) mit einer 20000 Volt-Schaltanlage (links) nach

Digitized by Google

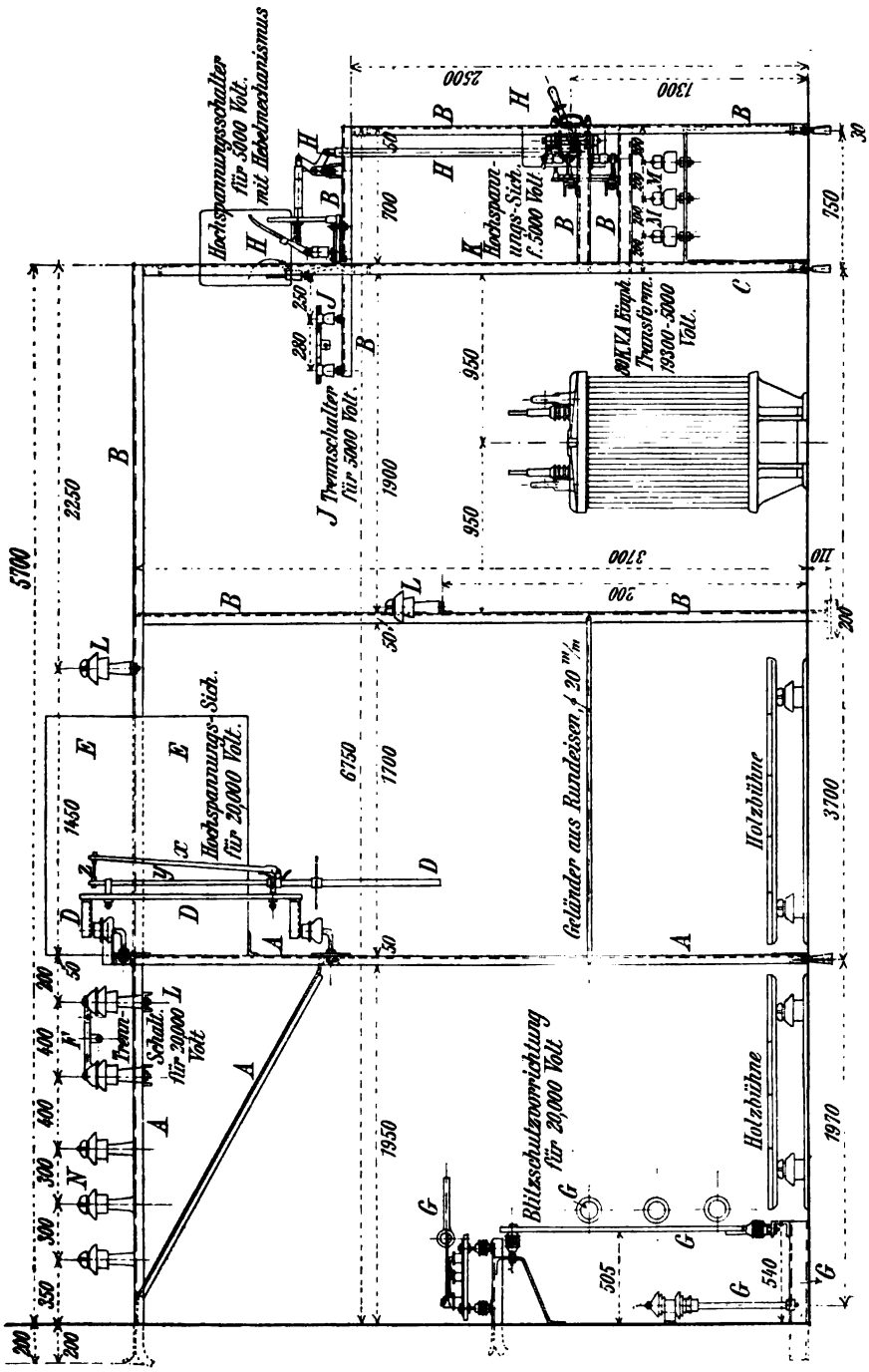


Fig. 43. Vereinigte Elektrizitäts-A.-G. Wien.

Digitized by Google

Fig. 43 kombiniert. Zwischen beiden stehen die Hochspannungstransformatoren. Nachstehend sind die Schalttafelteile zusammengefaßt:

Position	Stück	Gegenstand
A	1	Eisengerüst für das 20000 Volt-Schaltgestell
B	1	„ „ „ 5000 „
C[1])	1	Rückwärtiges Eisengerüst für das 5000 Volt-Schaltgestell
D	6	Hochspannungssicherungen für 20000 Volt
E	8	Zwischenwände für die Hochspannungssicherungen
F	6	Trennschalter für 20000 Volt
G	3	Blitzschutzgarnituren für 20000 Volt
H	3	Hochspannungsschalter für 5000 Volt mit Hebelübersetzung und Hebelmechanismus, zweipolig
J	6	Trennschalter für 5000 Volt
K	6	Hochspannungssicherungen für 5000 Volt
L	27	Hochspannungsisolatoren Nr. 381, mit Stütze 7/8"
M	9	Dreifach-Glockenisolator Nr. 6146, „ „ „
	3	Sammelschienen aus Kupferdraht, Durchm. 7 mm, 4000 mm lang, für 5000 Volt-Schaltgestell
N	3	Sammelschienen aus Kupferdraht, Durchm. 5 mm, 5500 mm lang, für 20000 Volt-Schaltgestell

Die Sicherung D wird später besprochen werden.

3. In größeren Hochspannungsanlagen verlegt man häufig die Hochspannungsschalter und die Sammelschienen samt Meßtransformatoren in ein Stockwerk über oder unter der Bedienungsschalttafel, die nur Niederspannung enthält. Eine solche Anlage zeigen Tafel I und Fig. 44 bis 45, welche dem Wasserkraftwerk Novalesa von Turin entsprechen[2]). Die Generatoren erzeugen 3000 Volt. Die Verbindungskabel derselben zur Schalttafel verlaufen in Souterrainräumen und sind an Porzellanklemmen befestigt. In dem Raum bei den Generatoren liegen zunächst die Sicherungen und die Spannungstransformatoren h, in einem Raum A daneben die Oelschalter FK, die Stromtransformatoren e, die Trennschalter d und die Sammelschienen G, sowie Abzweigungen F zu den Hochspannungstransformatoren. Ueber diesem Raum steht die eigentliche Schalttafel mit den Handgriffen b für die Oelschalter, mit Handrädern für die Feldwiderstände, die oben auf dem Schaltgerüst mittels Kette angetrieben werden, sowie die Meßinstrumente mit horizontaler Skala. Oberhalb der Transformatoren für 30000 Volt, die mittels Trennschalter (Tafel I rechts) auf die Fernleitung geschaltet werden können, steht ein selbsttätiger Oelschalter FH (Fig. 44),

[1]) Ist versehentlich mit G bezeichnet.

[2]) Nach Ing. A. Geiger, Il politecnico. Vol. L.

Digitized by Google

Transformatorenraum

Digitized by Google

Digitized by Google

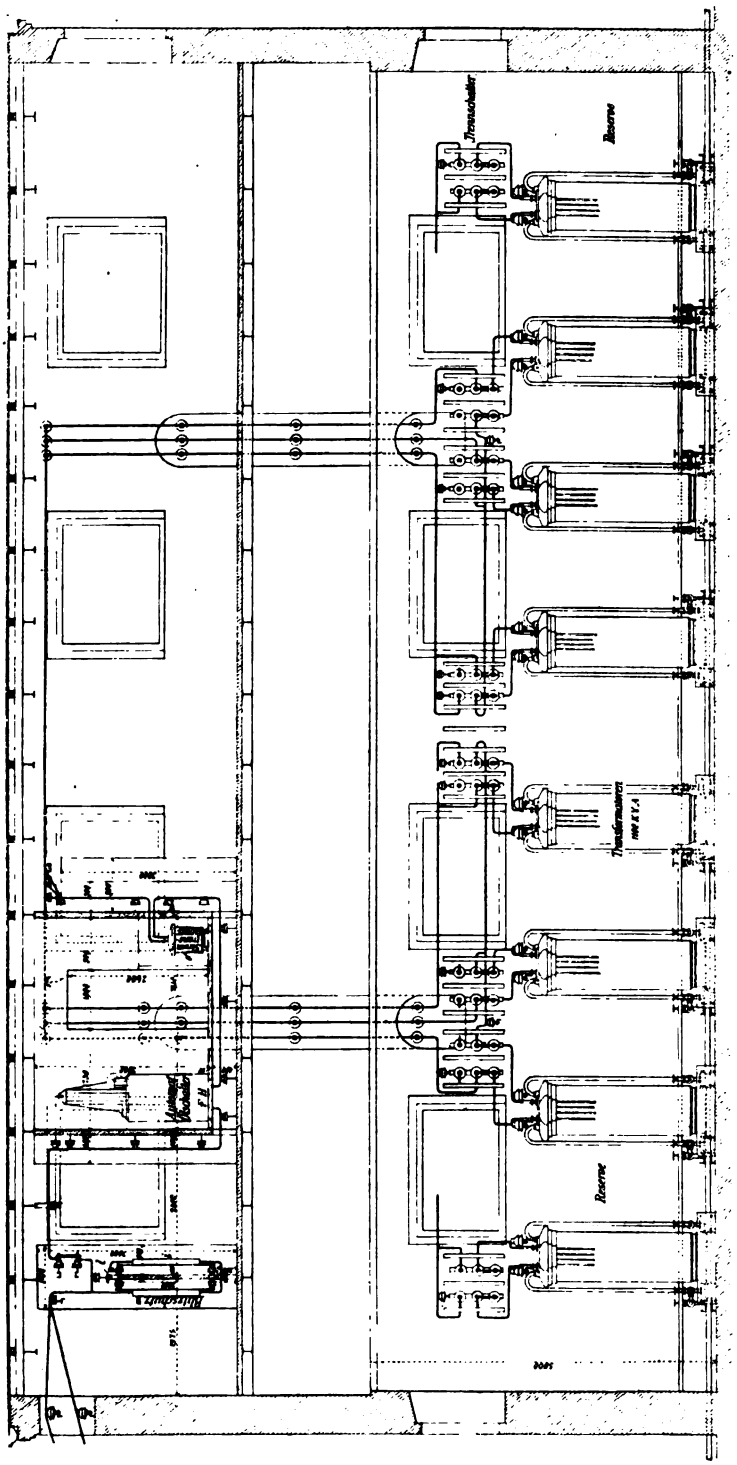


Fig. 44. Elektrizitätswerk Turin.

Digitized by Google

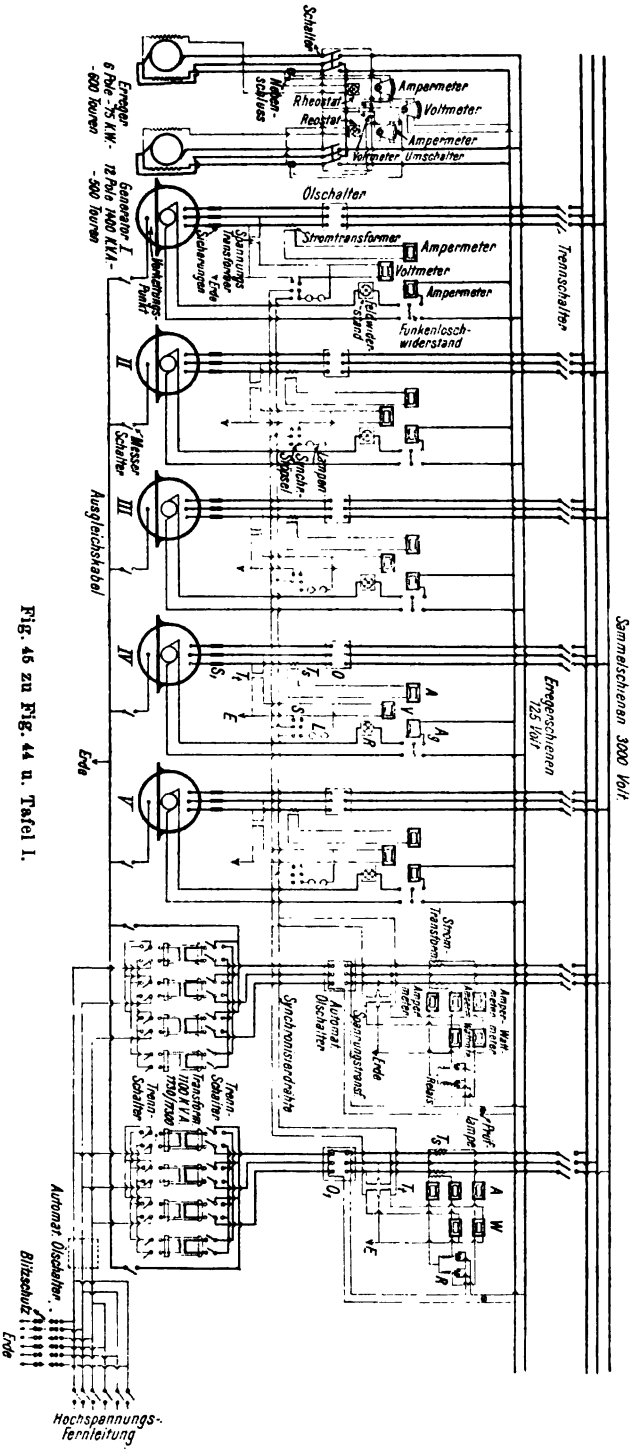


Fig. 45 zu Fig. 44 u. Tafel I.

Digitized by Google

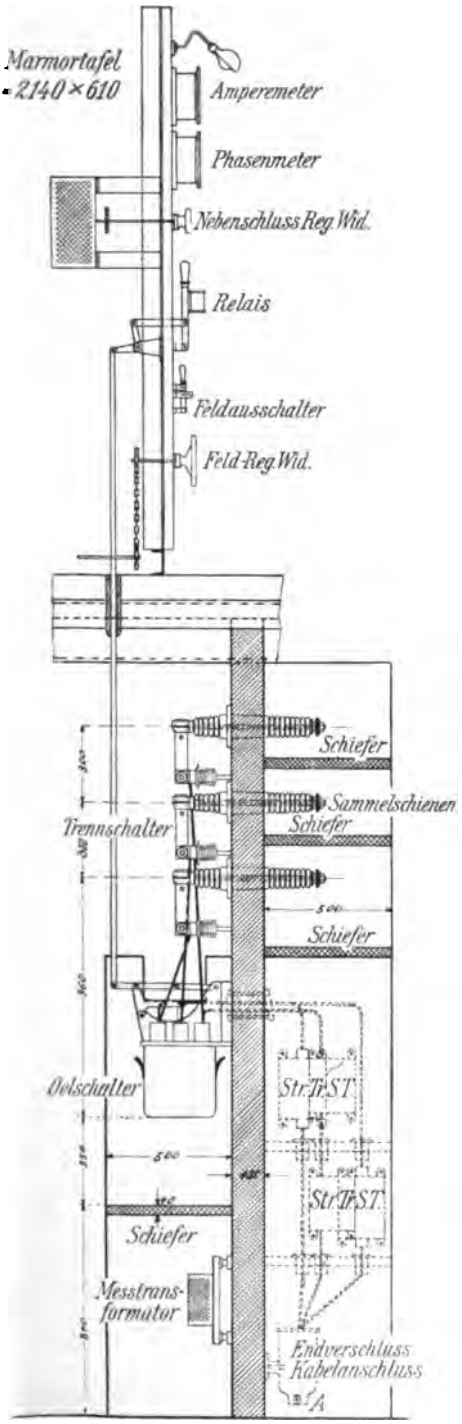


Fig. 46. Union E.-G.

sowie die aus Rollen und Graphitwiderständen bestehende Blitzschutzvorrichtung l. Der neutrale Punkt aller Generatoren ist durch ein geerdetes Kabel verbunden

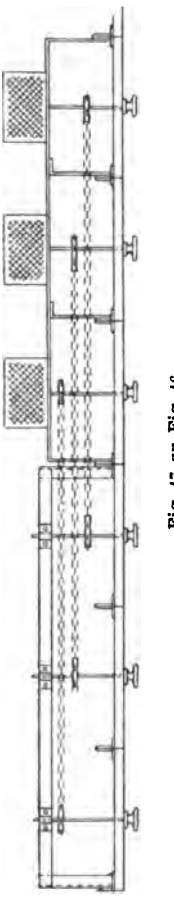


Fig. 47 zu Fig. 46.

(Fig. 45 u. Tafel I). In das Schaltschema (Fig. 45) sind alle Apparate eingezeichnet.

Eine kleinere zweistockige Schaltanlage[1]) ist nach Fig. 46 von

[1]) Eine ähnliche hierher passende Anlage siehe in Niethammer, Mod. Ges. f. d. Entw. elektr. Masch. u. App. Fig. 221 von Voigt & Häffner.

Digitized by Google

der Union E.-G. für die Stadt Brüssel mit 6000 Volt Spannung ausgeführt worden. Der Strom kommt von den Generatoren durch dreifach verseilte Kabel bei A in den unten liegenden Hochspannungsraum, durchströmt die verschiedenen Stromtransformatoren ST, die durch Scheidewände voneinander getrennt sind, und tritt durch eine mit Porzellanhülsen ausgeführte Mauer in die Oelschalter, welche durch ein langes

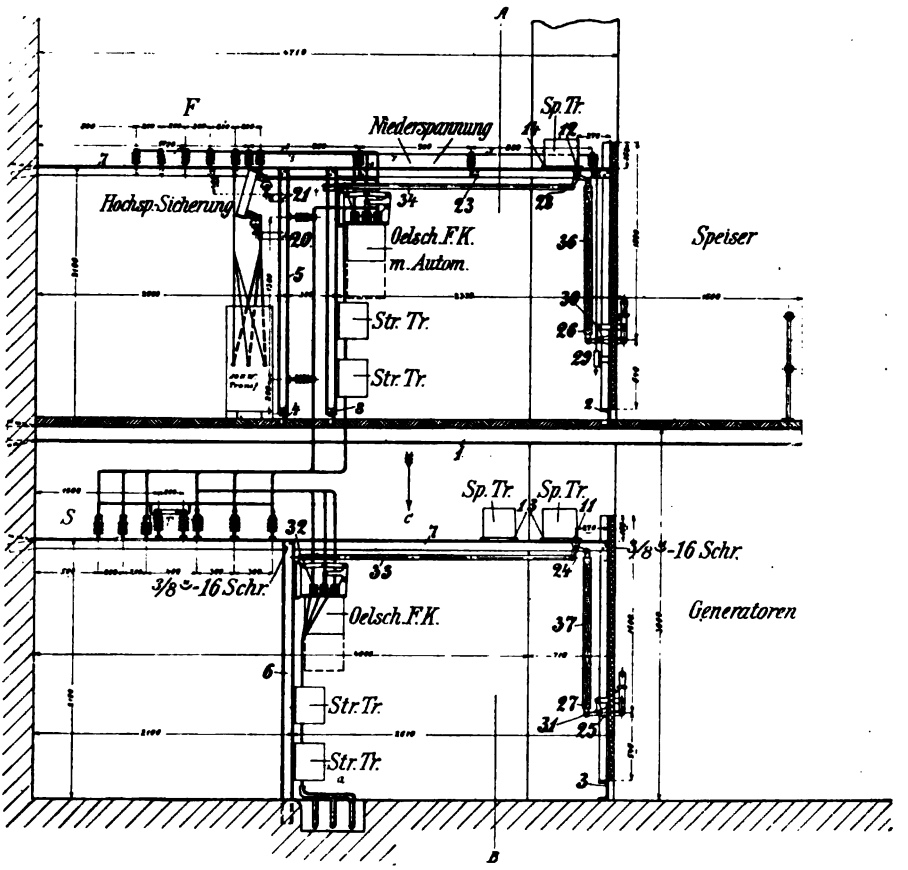


Fig. 47a. Union E.-G.

Gestänge betätigt werden und mit selbsttätiger Ausklinkvorrichtung bei Ueberlast versehen sind. In die Verbindungen zu den Sammelschienen, die auf hohen Isolatoren sitzen, sind Trennschalter eingefügt, die mittels Haken an langen Stangen geöffnet werden. Die Nebenschlußregler sitzen direkt hinter der Bedienungstafel und werden durch Kettenantriebe nach Fig. 47 verstellt. Jede der einzelnen Tafeln hat die Abmessungen 2140 × 610 × 30.

Hin und wieder trennt man die Generator- und Speiserschaltanlage je in ein besonderes Stockwerk nach Fig. 47a der Union Berlin. Auf

Digitized by Google

gleicher Höhe mit dem Maschinenbau ist die Generatortafel, eine Etage höher die Speisertafel. Die Oelschalter werden durch Gestänge betätigt,

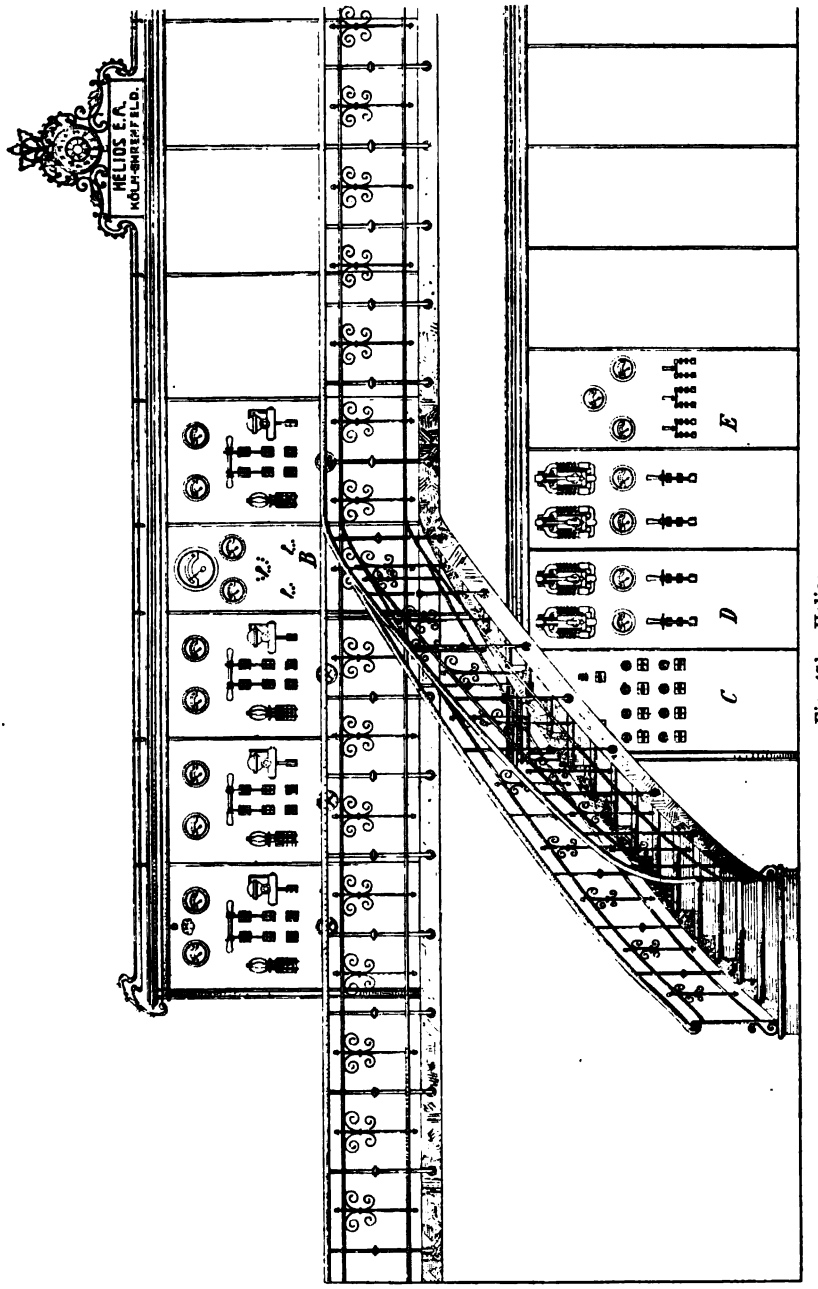


Fig. 47b. Helios.

wovon der Arm 37 aus imprägniertem Holz besteht. Die Speiserschalter haben Maximalrelais 29 und eine Schaltfeder, die auf den Gas-

Digitized by Google

rohrarm 34 wirkt. Die Spannungstransformatoren 11 bis 14 sitzen isoliert oben auf den querliegenden Winkeleisen des Gerüstes. In dem Kanal a kommen die Generatorkabel an. S sind die als Doppelsystem ausgebildeten Sammelschienen, T Trennschalter dazu. Im oberen Stockwerk steht für die Maschinenhausbeleuchtung ein 10 KW-Oeltransformator, der in der Hochspannung durch Röhrensicherungen geschützt ist. Von F aus gehen die Freileitungen ab.

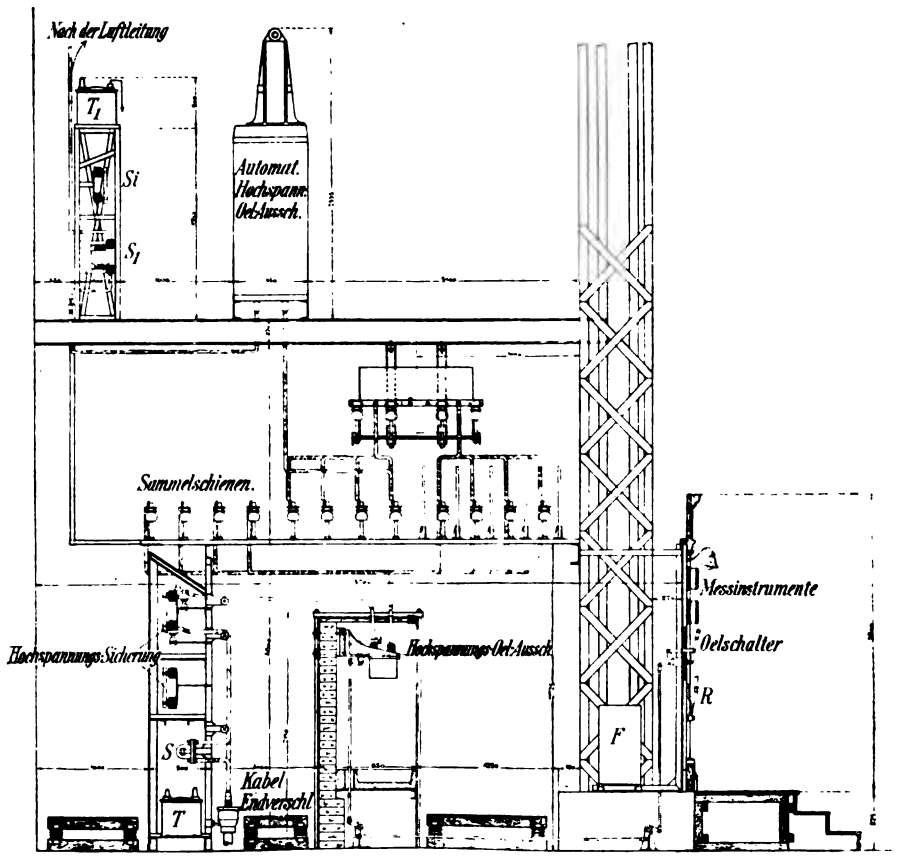


Fig 48. Sillwerke (Oesterr. Union).

Auch die Gleichstromanlage (Fig. 47b) von Helios ist derart abgeteilt, daß oben die Generatorfelder, unten die Speiserfelder aufgestellt sind. Das Feld B ist ein Sammelfeld mit Voltmeter und Erdschlußprüfer, während die Nachbarfelder mit Volt- und Ammeter, Handausschalter und Automaten je zu einem Generator gehören. Das untere Feld C speist die Beleuchtung, E die Motorbetriebe und die Felder D mit Starkstromautomaten die Bahn, wobei ein Pol an Erde liegt.

In Tafel II ist das Schaltungsschema der Sillwerke bei Innsbruck,

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

die von der Oesterreichischen Union ausgeführt worden sind, entworfen. Die Fig. 48 gibt einen Durchschnitt durch die äußerst beachtenswerte Schaltanlage dieses hydraulischen Kraftwerks, in dem bis jetzt zwei Zweiphasengeneratoren von 2600 KVA und 11000 Volt aufgestellt sind und das auch die Einphasenbahn im Stubaital speist. Die Sammelschienen der Generatoren sind als Ringleitung mit einem größeren Satz Trennschalter ausgebildet, für die Anschlüsse der Speiser ist ein zweiter Satz gerader Sammelschienen mit einem Oeltrennschalter B vorgesehen. Diese Schienen sind oberhalb des unteren Schaltraums, der mit drei Stufen den Maschinenhausboden abschließt, untergebracht. Der untere Hochspannungsraum ist zur Bedienung mit drei isolierten Gängen versehen. Das gesamte Schaltgerüst besteht aus Profileisen. Der oberste Schaltraum (Fig. 48) mit großen selbsttätigen Oelschaltern und einem Gerüst für die Stromtransformatoren S_1, den Sicherungen Si und den Spannungstransformatoren T_1 ist für die Speiser, d. h. für die Fernleitung bestimmt. Alle Leitungen bis auf die Sammelschienen sind sorgfältig isoliert. In der unten liegenden Generatorschaltanlage (Fig. 48) ist der Feldregler mit F und sein Kontaktschalter mit R bezeichnet, S sind Stromtransformatoren und T Spannungstransformatoren. Die Bezeichnungen des Schaltungsschemas (Tafel II) sind aus folgender Liste zu ersehen:

A = Amperemeter
Au = Ausschalter m. Funkenlöschkontakt
AC = Anstoßkontakte (dienen zur Betätigung des Hilfsmotors HM)
BV = Blitzschutzvorrichtung
DV = Differentialvoltmeter zum Synchronisieren
DS = Drosselspule
E = zur Erde
ED = Erregerdynamo
FR = Feldregulator
Fw = Funkenlöschwiderstand
G = Generator, 2600 KVA, 11000 Volt
HM = Hilfsmotor zum Oelschalter HÖAu
HS = Hochspannungssicherung für Meßtransformer
HOAu = Hochspannungsölausschalter
Lr = rote Lampe, Lg = grüne „ } Signallampen
M = Meßtransformator
NK = Nebenschlußkurzschließer
NR = Nebenschlußregulator
S = Sicherung
Ss = Synchronisierstöpsel
StW = Stromwandler
SpW = Spannungswandler
SU = Schienenunterbrecher (Trennschalter)
U = Umschalter
V = Voltmeter
VU = Voltmeterumschalter
W = Wattmeter
WZ = Wechselstromzähler
ZR = Zeitrelais (Zeitelement),
B = Oeltrennschalter mit Signallampen Lr und Lg, Motorantrieb B und Schaltkontakten AC.

Eine Anordnung für Schaltanlagen, wie sie bis gegen 10000 Volt öfters anzutreffen ist, hat nach Fig. 49 [1]) u. 49a eine erhöht liegende Bedienungsschalttafel mit je einem Bedienungsgang auf der Vorder- und

[1]) Nach Eborall, loc. cit.

Digitized by Google

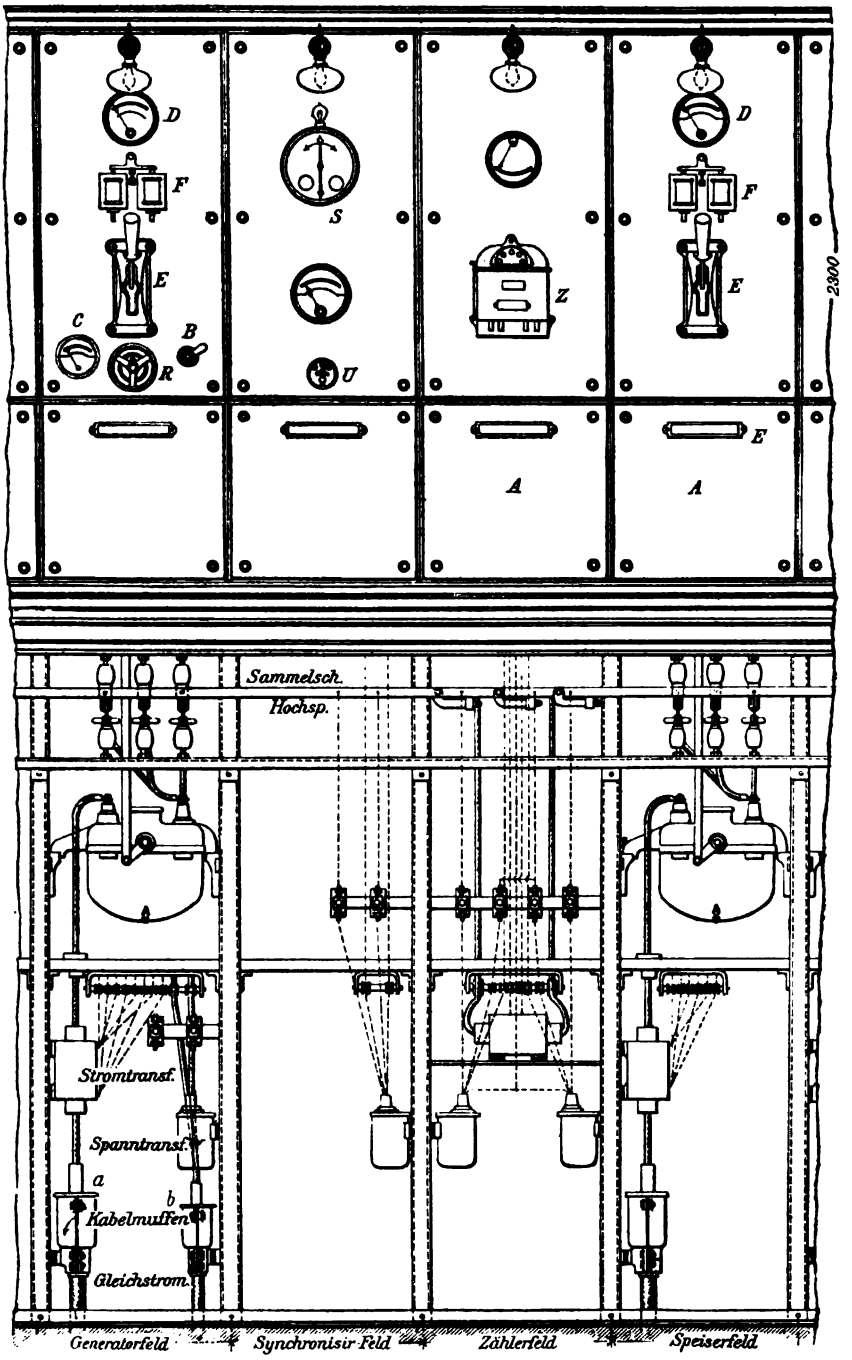


Fig. 49. Schaltanlage nach Eborall.

Digitized by Google

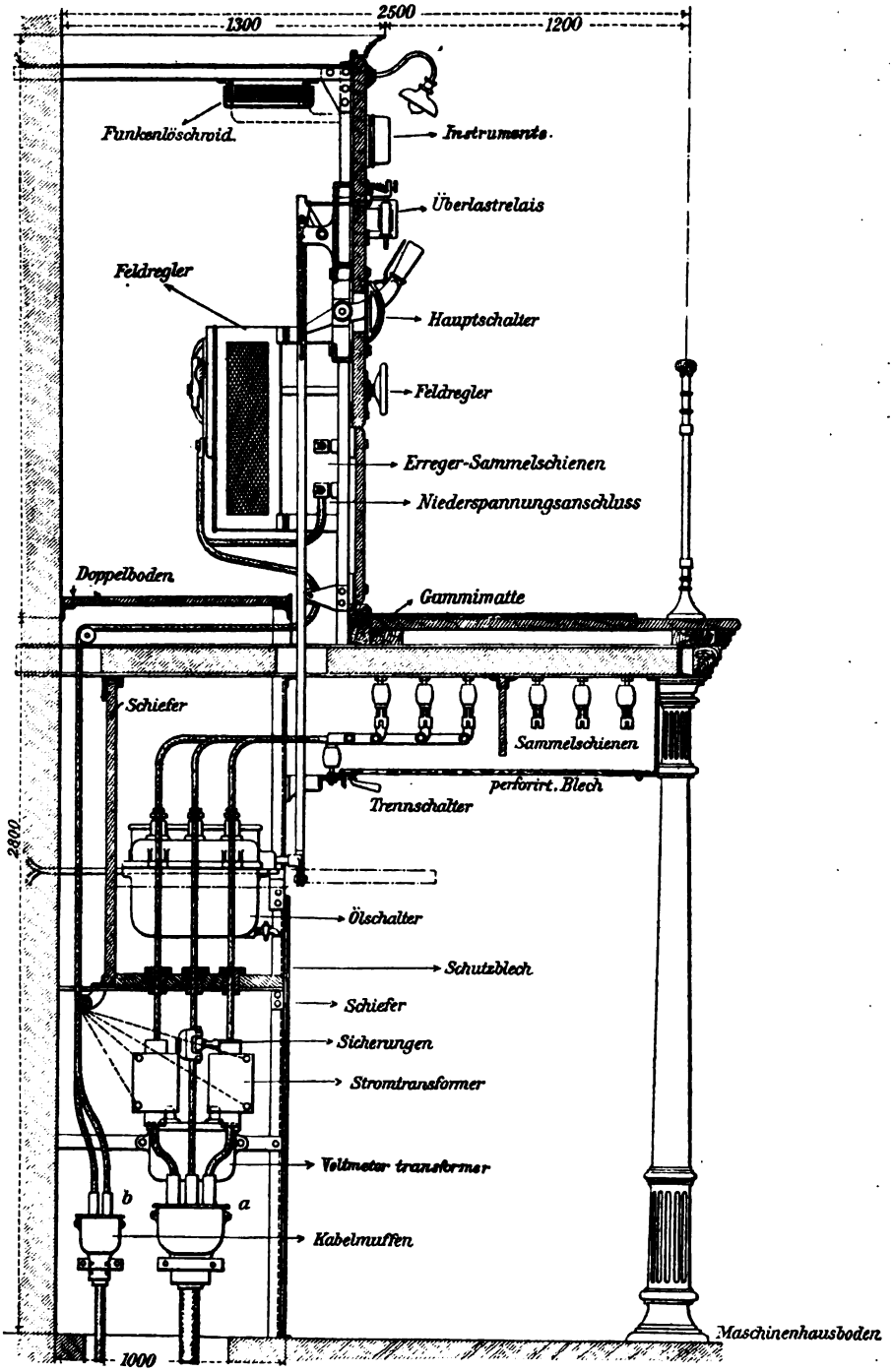


Fig. 49a. Schaltanlage nach Eborall.

Digitized by Google

Rückseite, man belegt denselben wohl häufig mit einer Gummimatte. Der Hochspannungsraum liegt auf gleicher Höhe mit dem Maschinenraum. Die in Fig. 49 leergebliebenen unteren Felder A kann man für die Apparate der Erregermaschinen benützen. Zwischen den einzelnen Hochspannungsfeldern sind 70 mm starke Schieferplatten eingeschoben. Die Sammelschienen (Fig. 49a) bilden eine Ringleitung, B = Erregerschalter, C = Erregerstrommesser, D = Wechselstromammeter, E = Hauptschalter, F = Ueberlastrelais, S = Synchronisierapparat, U = Voltmeterumschalter, Z = Zähler, a = Kabelmuffe für die Hochspannung, b für die Erregung.

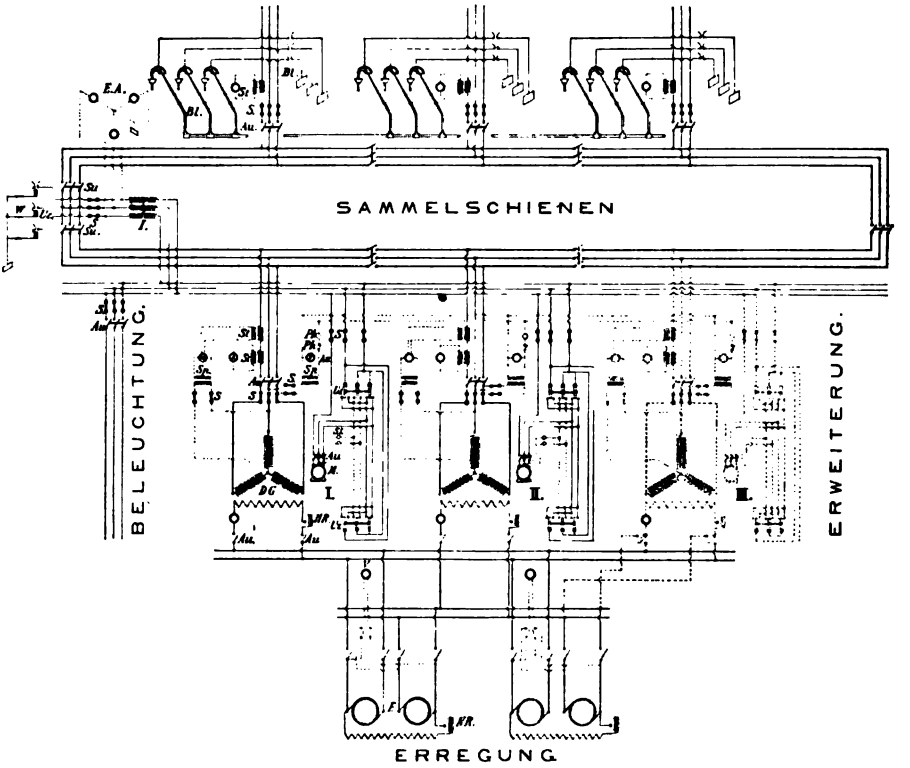


Fig. 50. Kolben & Co.

Eine jüngst von Kolben & Co., Prag, in einem Wasserkraftwerke ausgeführte Schaltanlage für 10000 bis 11000 Volt arbeitet nach dem Schema 50, während das Schaltgerüst durch zwei Querschnitte (Fig. 50a u. 50b) veranschaulicht ist. Die Zeichen des Schemas haben folgende Bedeutung:

A = Amperemeter
Au = Ausschalter
Bl = Blitzschutzvorrichtung
DG = Drehstromgenerator
E = Erreger
EA = Erdschlußanzeiger

Digitized by Google

HR = Hauptstromregulator
M = Antriebsmotor zur Zellenregulierung der Turbine
NR = Nebenschlußregulator
Ph = Phasenlampe
Ph Au = Phasenlampenausschalter
S = Sicherung
SL = Signallampe
Sp = Spannungsmeßtransformator
St = Strommeßtransformator
SU = Sammelschienenunterbrecher
I = Drehstromtransformator für Beleuchtung und für die Motoren M
Ui = Umschalter auf der Schalttafel für die Motoren M
Uz = Umschalter wie oben bei d. Turbine
Ue = Ueberspannungssicherung
V = Voltmeter
W = Wattmeter
W. = Widerstand

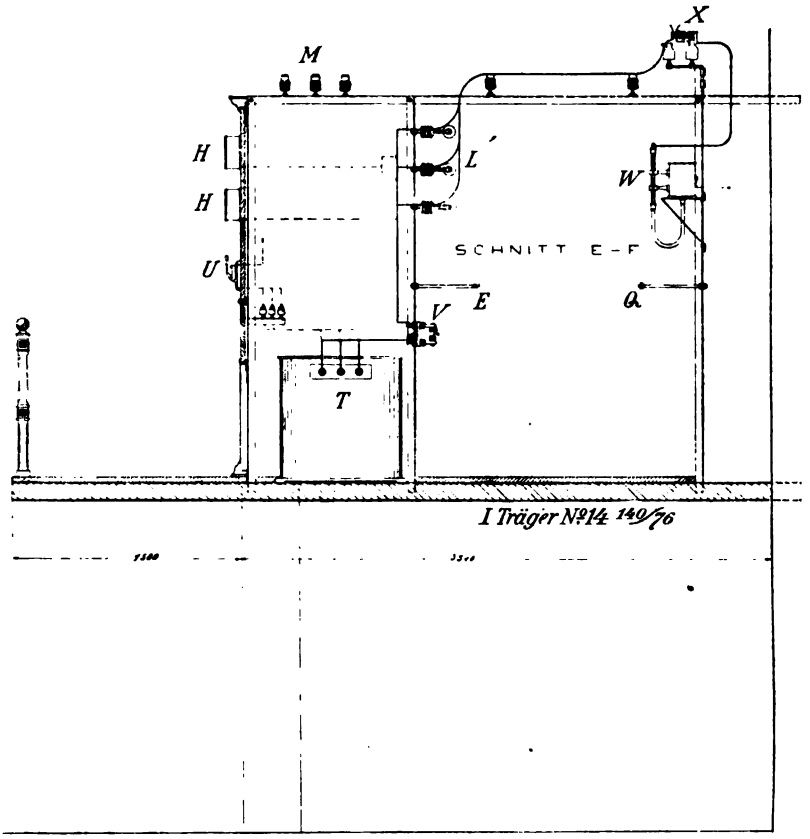


Fig. 50a. Kolben & Co.

In dem Schema ist besonders zu beachten, daß zwei Systeme von Erregersammelschienen und zwei Sätze Erreger vorhanden sind. Die Regulierung der Wasserturbine erfolgt durch einen kleinen Elektromotor entweder von der Schalttafel oder von der Turbine aus. Der Effekt der Drehstromgeneratoren wird einphasig gemessen. Die Sammelschienen sind als Ringleitung ausgebildet, von denen auch über einen Transformator T die Hilfssammelschienen für die Maschinenhausbeleuchtung und

Digitized by Google

die Hilfsmotoren abzweigen. Die Blitzableiter Bl bestehen je pro Phase in einem Wasserstrahl, der der Preßwasserleitung entnommen wird.

Die Zuleitungen von den Erregern (Fig. 50b) sind blanke Kupferschienen E, von den Generatoren stark verseilte Kabel G auf Holzstützen. Weiter haben in Fig. 50a u. b die Buchstaben folgende Bedeutung:

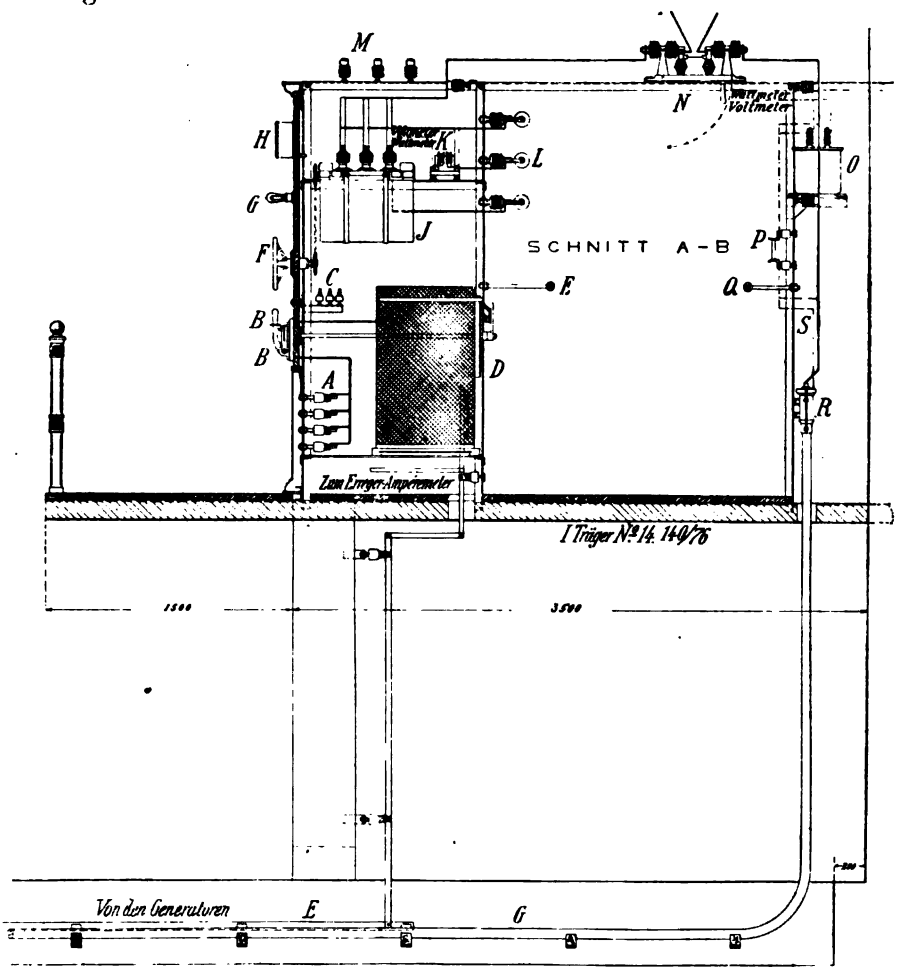


Fig. 50b. Kolben & Co.

A = Erregersammelschienen, B = Feldschalter, C = Drehstromschienen für das Maschinenhaus, D = Feldregler, E = Schutzgeländer, F = Handrad zum Oelschalter J, G = Phasenlampe, H = Meßinstrument, K = Stromtransformer, L und M = Hochspannungsringleitung, N = Hörnersicherung, O = Spannungstransformer in Oel, P = Spannungssicherung, Q = Schutzgeländer, R = Kabelanschluß, S = Prüfdraht (Spannungsdraht), T = Transformator für das Maschinenhaus, U = Ausschalter für die Maschinenhausbeleuchtung, V = Sicherung zu T, W = Wasserwiderstand zur Ueberspannungssicherung X.

Digitized by Google

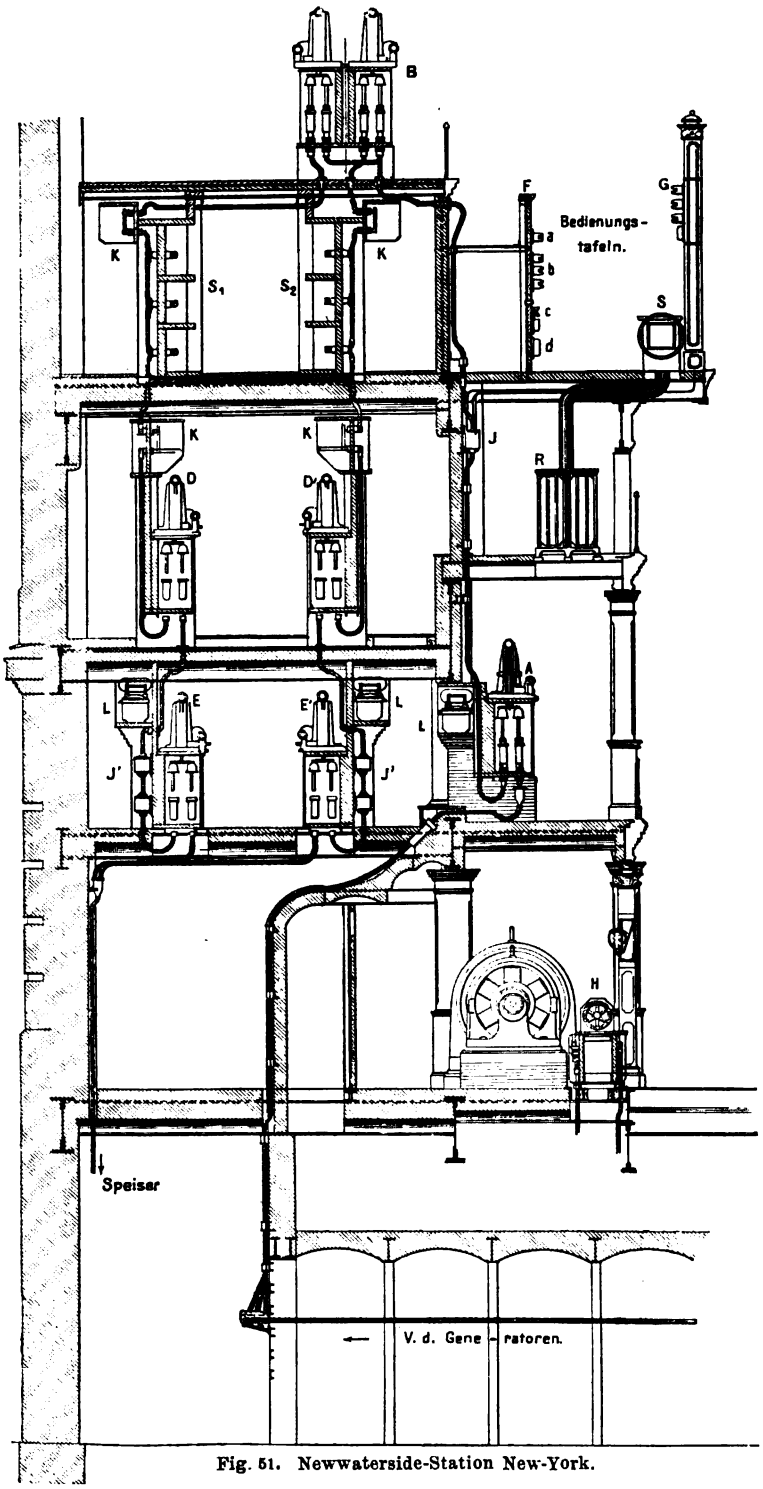
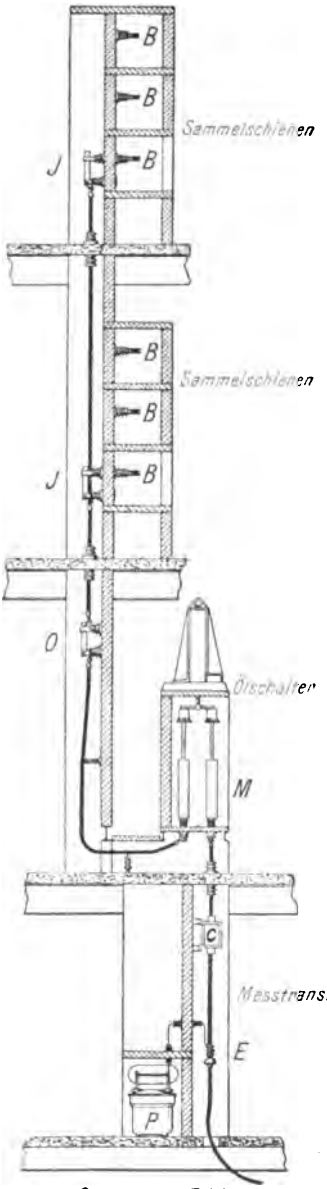
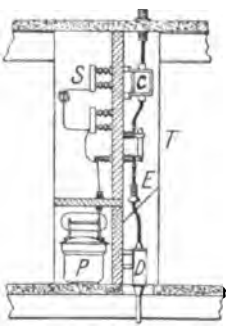


Fig. 51. Newwaterside-Station New-York.

Digitized by Google





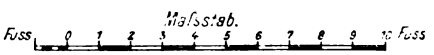


Fig. 52. Fig. 53.

Londoner Untergrundbahn.

In den Fig. 51 bis 54 sind schließlich die großen Schalthäuser[1]) veranschaulicht, wie sie besonders von den amerikanischen Großfirmen, in erster Linie von der Gen. El. Co. für Zentralen mit großer Energiemenge und hoher Spannung entwickelt worden sind. Die Fig. 51 entspricht einem Durchschnitt durch die Schaltanlagen der Newwaterside-Station in New-York: Die von den Generatoren kommenden Kabel passieren zuerst die Oelschalter A im ersten Stockwerk, dann im dritten Stockwerk die Stromtransformatoren J und im fünften die Umschalter B, welche gestatten, jeden Generator beliebig auf eines der Sammelschienensysteme S_1 oder S_2 zu schalten. Vor dem Anschluß der Kabel mit den Sammelschienen liegen die Trennschalter K; D und E sowie D′ und E′ sind die ebenfalls wahlweise benützbaren Oelschalter für die Speiser. J′ sind Stromtransformatoren, die auch für Wattmeter und Phasenmeter benützt werden. Die in besonderen Nischen untergebrachten Oeltransformatoren L dienen zur Speisung der Voltmeter und der Spannungsspulen der Wattmeter. Die Bedienung der ganzen Schaltanlage geschieht vom vierten Stockwerk aus. Dort stehen gegen das Maschinenhaus zu die Generatorsäulen G mit den Meßinstrumenten und darunter eine

[1]) Siehe auch Niethammer, Mod. Ges. f. d. Entw. elektr. Masch. u. App. Fig. 222 und Z. f. E. 1905. Heft 6 u. 7 (Wien).

Digitized by Google

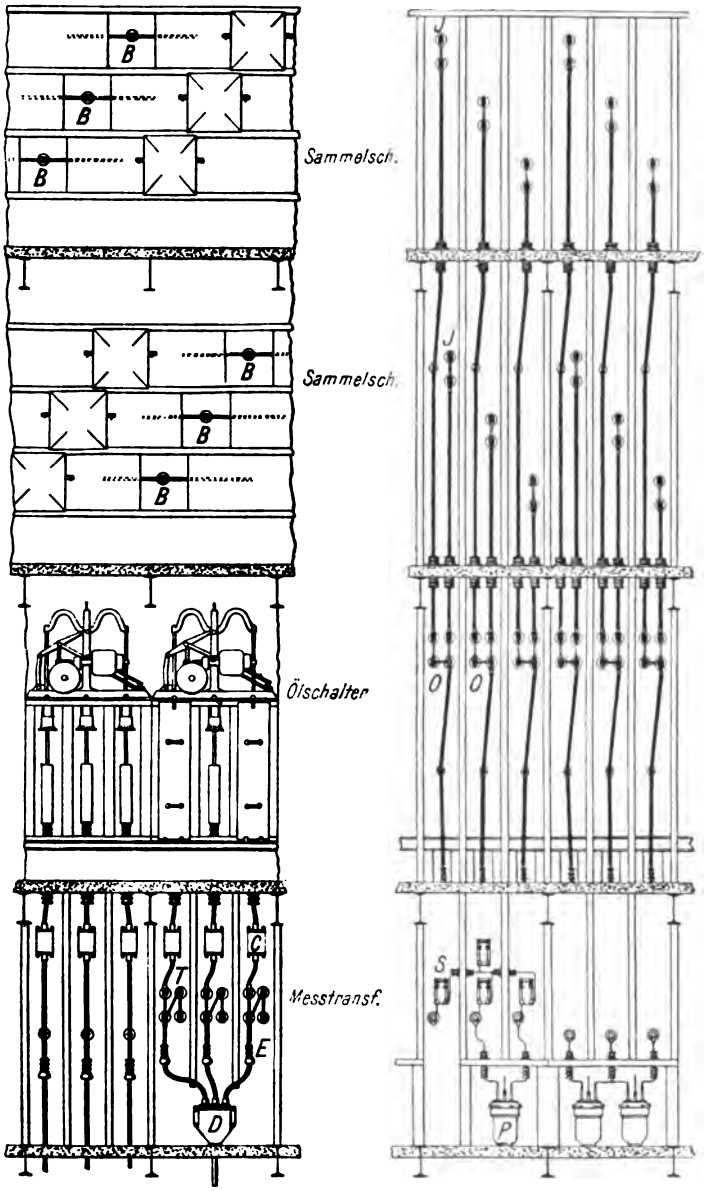


Fig. 54. Fig. 55.

Londoner Untergrundbahn.

Reihe Ständer S, an denen die Hilfsschalter zur indirekten Betätigung der Oelschalter, sowie die verschiedenen Schaltapparate der Erregerkreise.

Digitized by Google

namentlich auch die Handräder der Regulierwiderstände angebracht sind. Rückwärtig ist die Speiserschalttafel F mit den Strom-, Spannungs- und Leistungsmessern a und b, den Hilfsschaltern c für die Oelschalter D und E und den Zählern d. Die Widerstände R sind in einem Zwischenboden aufgestellt. Auf dem Maschinenhausboden stehen noch in der Nähe der einzelnen Erregeraggregate Schaltständer H zur

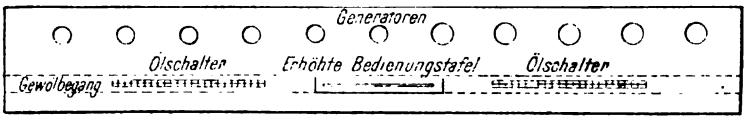


Fig. 56.

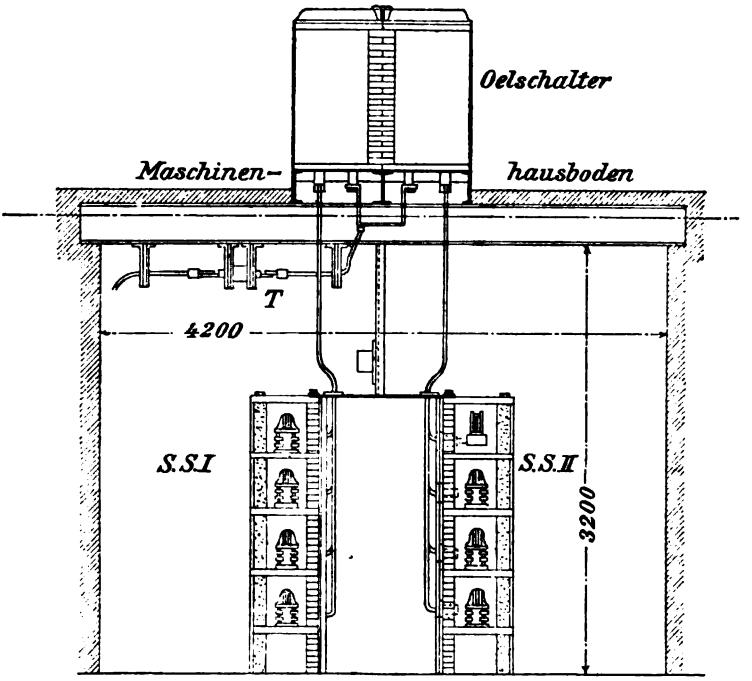


Fig. 57.
Niagaraanlage.

Schaltung der Erregermaschinen. Es ist ersichtlich, daß die einzelnen Phasen der Generator- und Speiserschalter sowie der Sammelschienen durchweg in abgeschlossenen Zellen untergebracht und daß alle Leitungen isoliert sind. Es geht dies noch etwas deutlicher aus den Skizzen (Fig. 52 bis 55) hervor, welche dem neuen Kraftwerk für die Londoner Untergrundbahn (nach Merz und Mc Lellan) entnommen sind. Es ist nicht nur ein Durchschnitt durch ein Generator- (Fig. 52) und Speiserfeld (Fig. 53), sondern auch eine Vorder- (Fig. 54) und Rückansicht (Fig. 55)

Digitized by Google

beider Felder gegeben. Die Apparate sind in einer Stückliste zusammengestellt: B = Sammelschienen, J = Trennschalter (Sammelschienen), O = Wahlumschalter, M = Oelschalter, C = Stromtransformer, P = Spannungstransformer, D = Kabelkasten, E = Abzweigung, T = Trennschalter (Speiser), S = Funkenstrecke.

Die Niagaraanlage mit elf Generatoren zu 5000 PS zeigt folgende prinzipielle Anordnung (Fig. 56): Erhöht liegt die etwa 25 m lange Bedienungsschalttafel mit 36 Feldern und zwar 11 Generatorfeldern, 2 Sammelfeldern, 1 Erregerfeld und 22 Speisefeldern; links und rechts daneben steht je eine Batterie Oelschalter zu ebener Erde. In einem unterirdischen Gang, der die ganze Länge des Maschinenhauses durch-

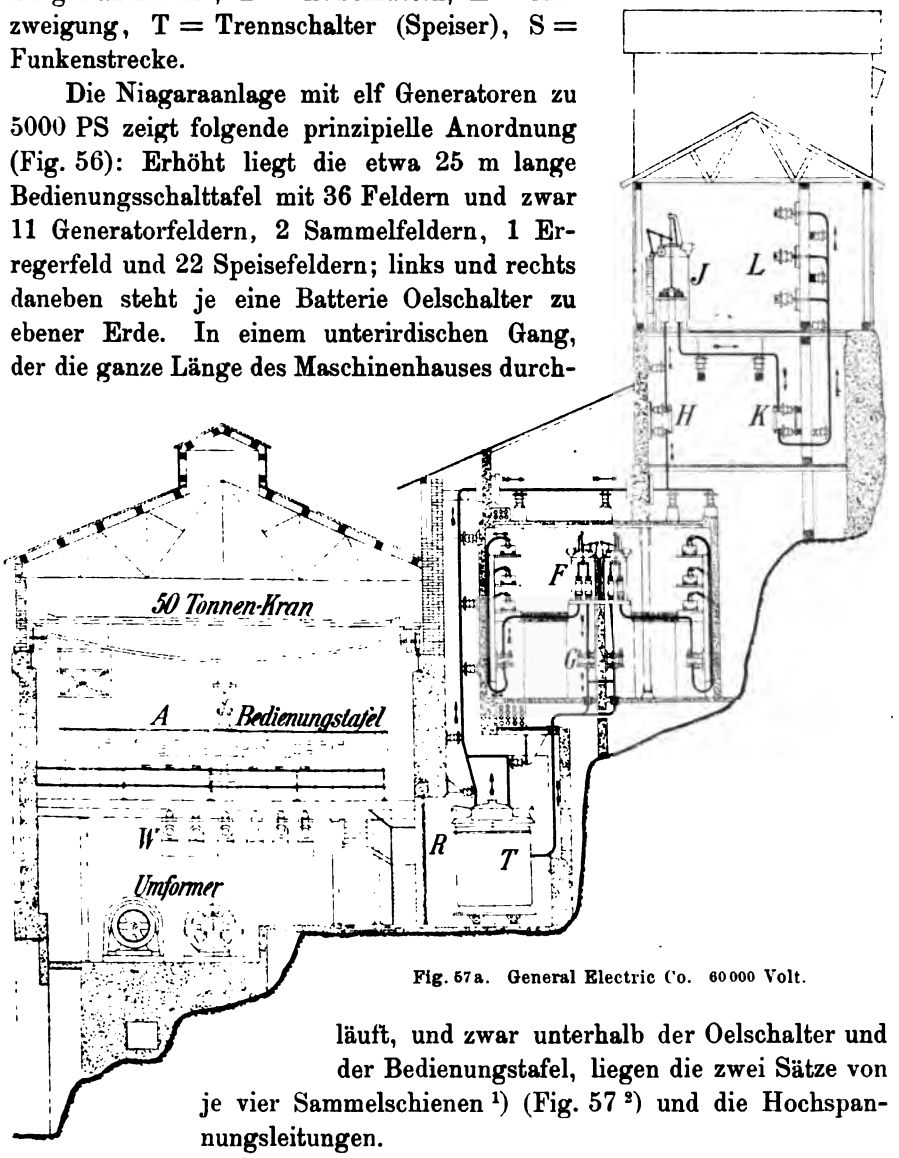


Fig. 57a. General Electric Co. 60000 Volt.

läuft, und zwar unterhalb der Oelschalter und der Bedienungstafel, liegen die zwei Sätze von je vier Sammelschienen [1]) (Fig. 57 [2]) und die Hochspannungsleitungen.

Von besonderem Interesse ist die von der Gen. El. Co. gebaute Schaltanlage (Fig. 57a u. 57b) für 60000 Volt Uebertragungsspannung

[1]) Zweiphasig.

[2]) Nach Buck. T = Stromtransformer.

Digitized by Google

bei 2300 Volt Generatorspannung (Electrical World 8. Oktober 1904). Im Maschinenraum steht nur die hufeisenförmige Bedienungstafel A, an deren Unterseite die Feldwiderstände W hängen. Daneben ist der Transformatorenraum T für 2300/60000 Volt mit Rollläden R abgeschlossen. Der Generatorenstrom geht von G (Fig. 57b) vermittels gut armierter Kabel über die Trennschalter B und die Oelschalter C zu den Niederspannungsschienen S, die auf Porzellanklötzen liegen. Von diesen wird durch die Schalter F und G (Fig. 57a) den Transformatoren Strom zugeführt. Von hier aus gehen die gut isolierten 60000 Volt-Kabel auf hohen Isolatoren und durch 750 mm weite Durchführungen zu den Trennschaltern H, den Oelschaltern J, den Messerschaltern K und den Hochspannungsschienen L. Davon zweigen durch entsprechende Schalter K J H die Fernleitungen M ab, an denen noch die Rollenblitzableiter N liegen.

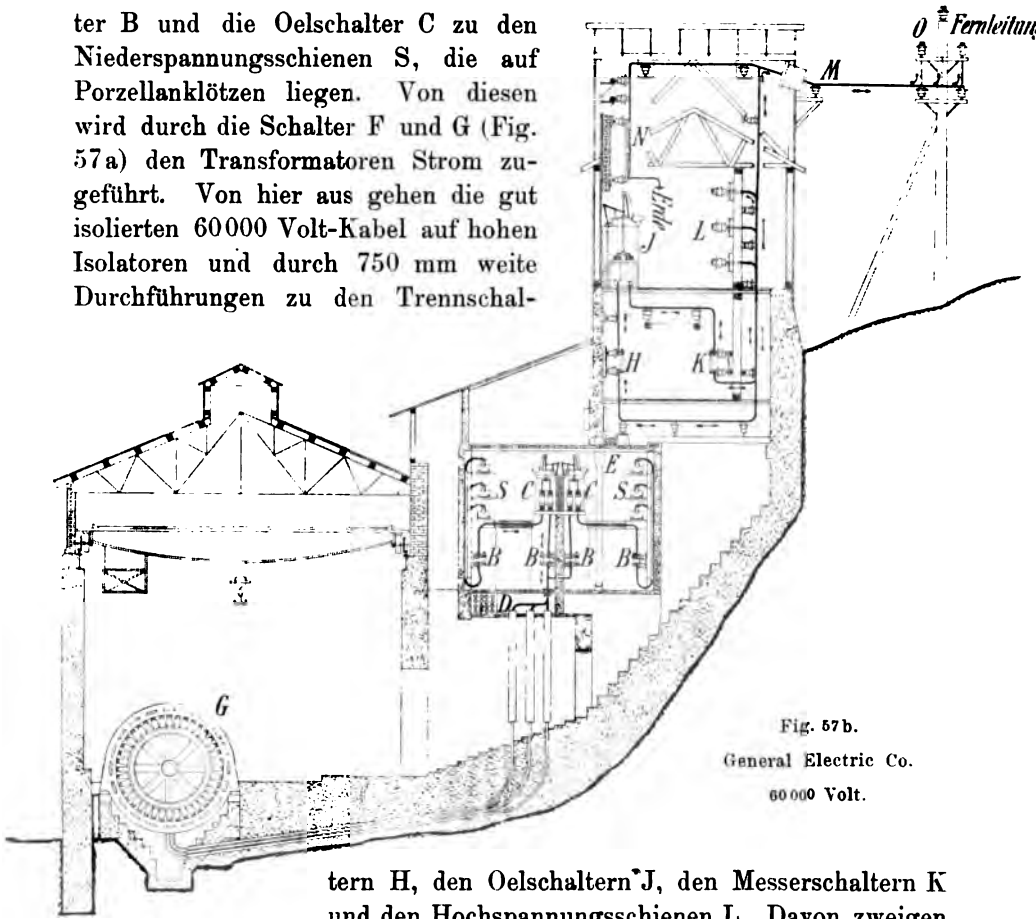


Fig. 57b.
General Electric Co.
60000 Volt.

Bei den bis jetzt besprochenen Anordnungen kann die Bedienungsschalttafel angeordnet sein entweder: als durchgehende Ebene, wie das meist der Fall ist (Fig. 38 u. 49), oder als Hufeisen (Fig. 58) bezw. in Winkelform oder schließlich in mehreren parallelen Ebenen, wie das die Westinghouse Co. nach Fig. 59 in Glasgow ausgeführt hat. Die Fig. 59 ist nach rechts noch in gleicher Weise fortgesetzt zu denken. Es entstehen dann eine ganze Reihe Zellen: O = Hochspannungsschalter,

Digitized by Google

C = Stromtransformer, R = Ueberlastrelais, A = Schalthebel, L = Lampe, M = Meßinstrumente, D = Kabelanschluß.

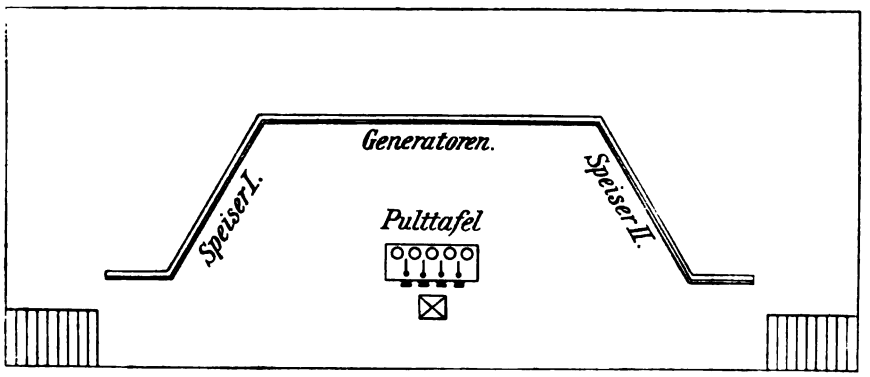


Fig. 58.
Die Pulttafel wird häufig um 180° gedreht.

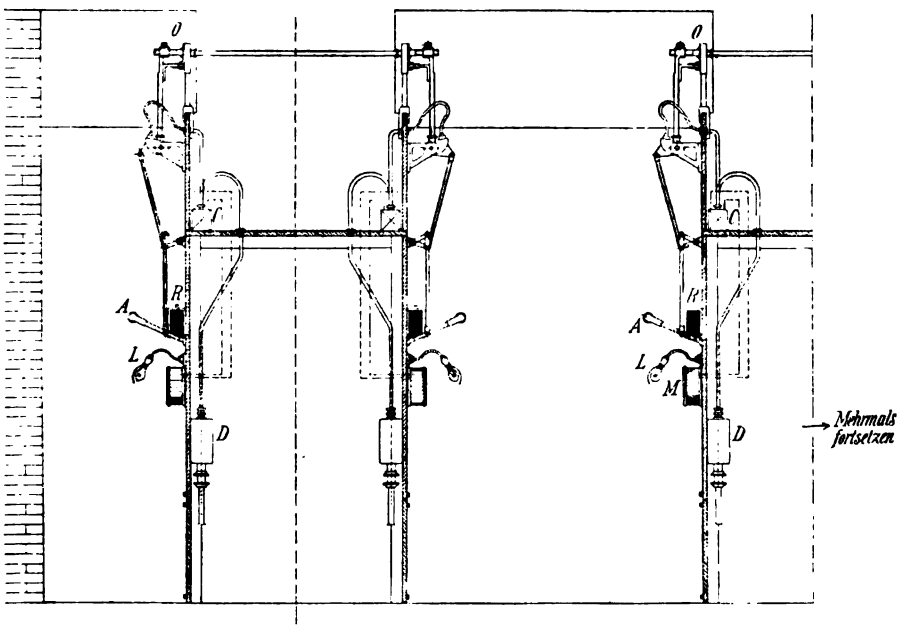


Fig. 59. Westinghouse Co.

4a. Die kleinen Wandschalttafeln, wie sie besonders für kleine Dynamos und vielfach für Niederspannungsmotoranlagen ausgeführt werden, haben ihre sämtlichen Apparate und Instrumente, häufig auch die Verbindungen auf der Vorderseite, wie dies aus Fig. 60 von Siemens & Halske, einer Normalschalttafel für eine Gleichstromdynamo, ferner aus (Fig. 61) einer Verteilungstafel der A. E.-G. hervor-

Digitized by Google

geht. Die Tafel (Fig. 60) enthält zwei einpolige Schalter für die Dynamo, einen Umschalter für die Batterie, zwei Strommesser (Dynamo und Batterie), einen Stromrichtungszeiger, ein Schema, ein Voltmeter, einen Umschalter-

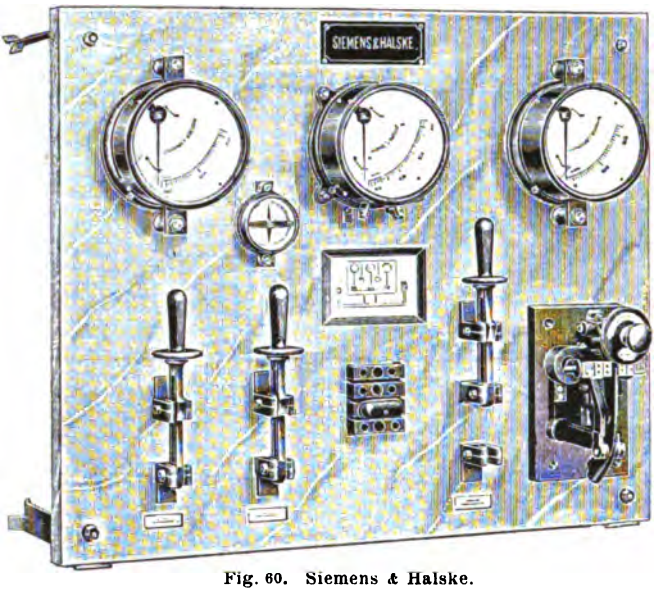


Fig. 60. Siemens & Halske.

stöpsel dazu und einen Minimalschalter. Die Fig. 61 enthält Schalter und Sicherungen für alle Abzweigungen und zwei Hauptsicherungen. Für

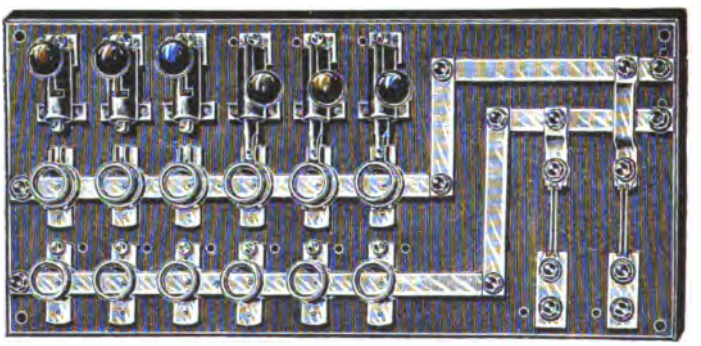


Fig. 61. A. E.-G. Berlin.

Motoren bis 100 Ampere und 500 Volt führen die Siemens-Schuckert-Werke die ganz einfachen Tafeln (Fig. 62 u. 63) aus, wobei die Schalter abgedeckt sind.

4b. Das Schalttafelsystem ohne Rückwand hat Ferranti auch für Hochspannung durchgebildet, obwohl es sich für Drehstrom bei Span-

Digitized by Google

nungen über 5000 Volt kaum genügend betriebssicher bauen lassen dürfte. Sämtliche Instrumente und Schalter (Fig. 64) sind in Zellen untergebracht, die aus Schiefer bestehen und direkt in die Wand eingelassen sind. Der Aufbau und die Verbindungen werden wohl übersichtlich, aber bei Hochspannung fällt die Anlage zu gedrängt und wohl

Fig. 62.

Siemens-Schuckert.

Fig. 63.

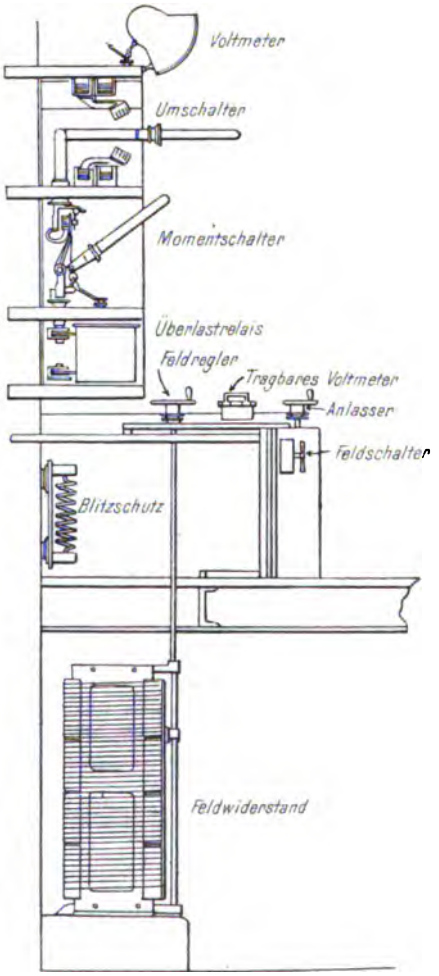


Fig. 64. Ferranti-Schaltanlage.

auch für die Bedienung etwas gefährlich aus. Die Fig. 64 entspricht einer Gleichstrombahnanlage, unterscheidet sich aber nicht prinzipiell von einer Wechselstromanlage.

5. Die Säulenschaltanordnung hat besonders für die Bedienung von Generatoren und Motoren Anwendung gefunden, weil sie

Digitized by Google

am wenigsten den Ausblick ins Maschinenhaus sperrt. Die Schaltsäule (Fig. 65) von Voigt & Häffner enthält in sehr gedrängter Form alles, was zu einem Generator gehört: Voltmeter V, Amperemeter A, Wattmeter W, den Ausschalterhebel S und das Regulierrad R für

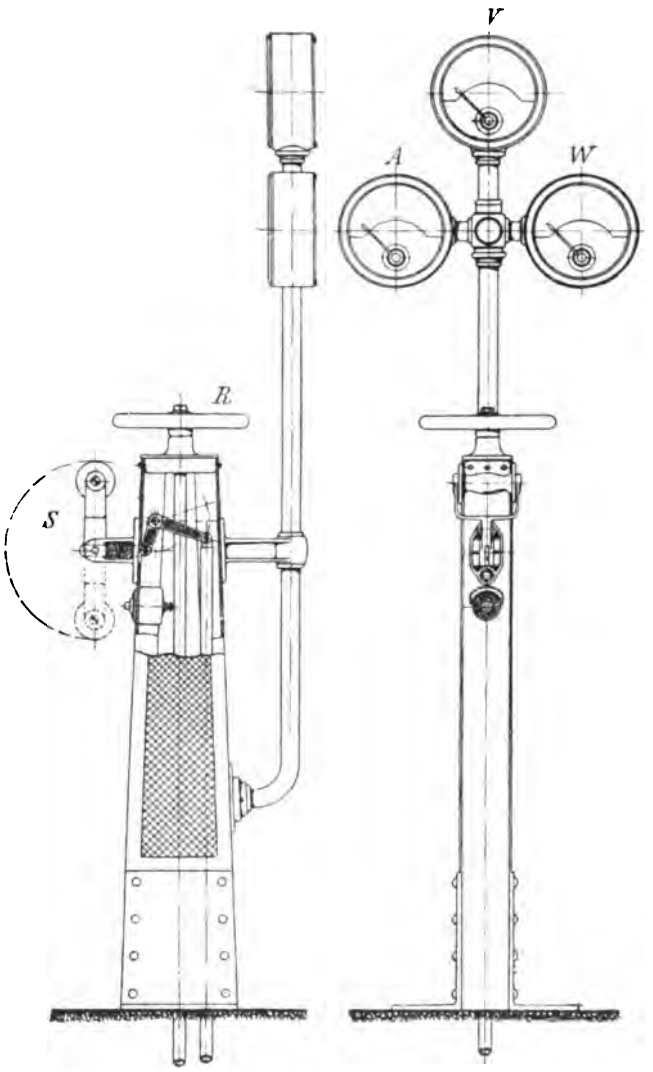


Fig. 65. Voigt & Häffner.

den Widerstand [1]). Die Compagnie de l'Industrie Electrique vereinigt in der Schaltsäule (Fig. 66) sämtliches Zubehör für einen

[1]) Die zugehörigen Schaltapparate, sowie eine ganze hierher passende Schaltanlage findet sich in Niethammer, Mod. Ges. f. d. Entw. elektr. Masch. u. App., Fig. 221 u. 214.

Digitized by Google

Gleichstromgenerator zur Erzeugung konstanter Stromstärke [1]): Oben sitzt das Voltmeter und das Amperemeter, darunter der Ausschalter und der selbsttätige Kurzschließer (by pass). Es geht ohne weiteres an, die Schaltsäule neben dem zugehörigen Generator aufzustellen, Fig. 67 nach Oskar von Miller (A = Oelschalter, R = Regulator,

Fig. 66. Compagnie de l'Industrie Electrique, Genf.

MT_{II} = Meßtransformer). Eine Schaltsäule für die Bedienung eines Drehstrommotors hat die Maschinenfabrik Oerlikon nach Fig. 68 ausgeführt:

An der Säule ist ein Volt- und ein Amperemeter vorgesehen, ferner ein Handgriff für den Röhrenschalter V und ein Handrad für den Flüssigkeitsanlasser w. Im Untergeschoß sind außer dem Hochspannungsröhren-

[1]) Ein Schema folgt später oder siehe loc. cit. Fig. 218.

Digitized by Google

schalter V, dem Flüssigkeitsanlasser w noch die Sicherungen s untergebracht. Auch in dem großen Schalthaus (Fig. 51) kann man die Ständer S und H als Schaltsäulen auffassen. Die ganze Schaltanlage wird selten mit Säulen ausgeführt, die Speiser erhalten in der Regel eine hinter den Generatorsäulen eben verlaufende Flachtafel [1]).

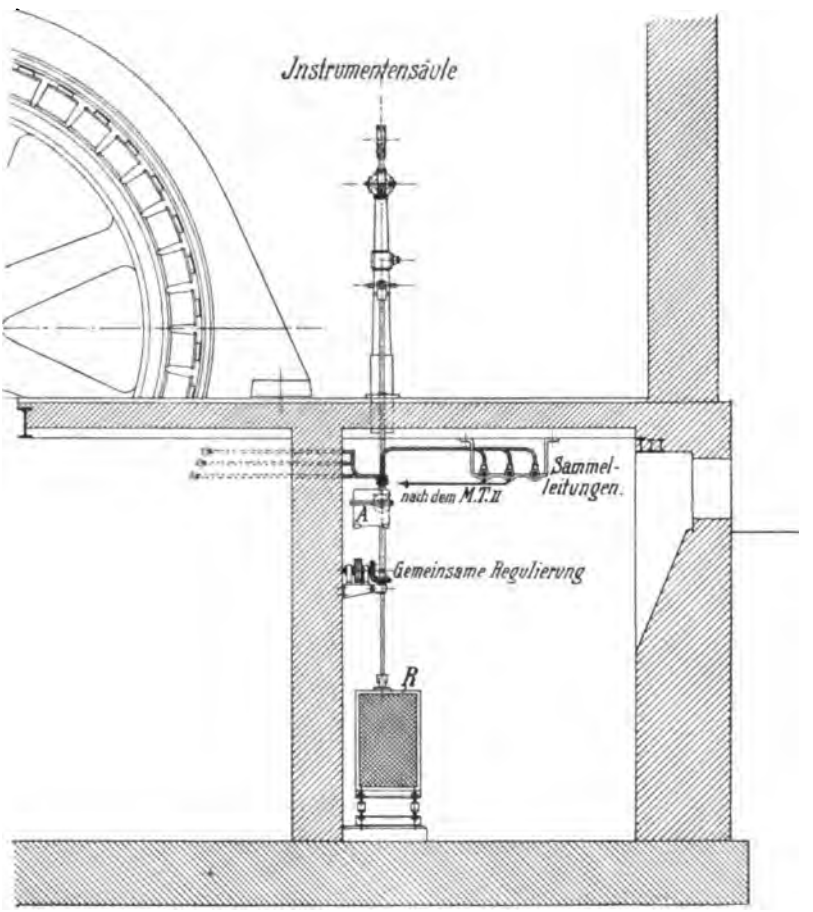


Fig. 67.

6. Pultschalttafeln werden hauptsächlich zur indirekten und gemeinsamen Bedienung und Regulierung der ganzen übrigen Schaltanlage benützt, wie dies z. B. aus den Fig. 69 u. 70 hervorgeht. Es ist dies die Bedienungstafel der großen Zentrale der New-Yorker Hochbahn. Von oben nach unten gesehen sitzen auf der schrägen Schalt-

[1]) Niethammer, loc. cit. Fig. 214, sowie in diesem Band die Schalttafeln Schweiz. Firmen.

Digitized by Google

wand: das Synchronisiervoltmeter in der Mitte, die Synchronisierumschaltestöpsel, der Kontroller für den motorbetriebenen Feldwiderstand, dann kommen die kleinen Kontrollschalter zur Betätigung der Oelschalter, die letzten Handgriffe steuern einen kleinen Motor am Dampfmaschinen-

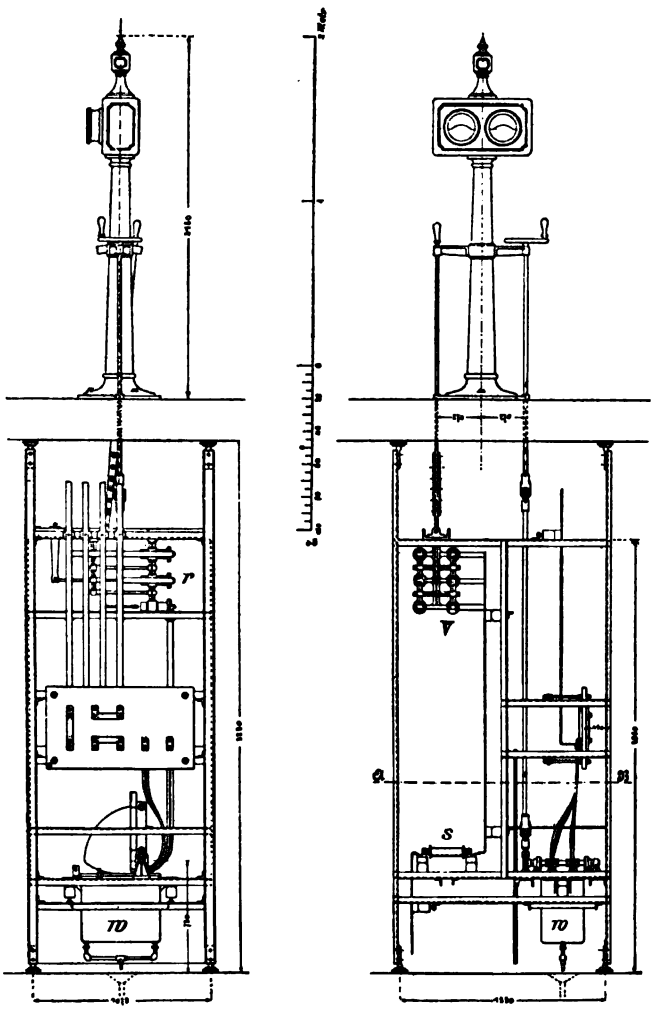


Fig. 68. Maschinenfabrik Oerlikon.

regulator. An der vertikalen Vorderwand sitzt ein Zuggriff für den Feldunterbrecher, der in der gezeichneten Stellung b das Feld auf einen Funkenlöschwiderstand schließt, darunter sitzen kleine Gruppenkontrollschalter. In Amerika hat man die Pultschalttafel meist wieder verlassen, da sie leicht zu Fehlgriffen Veranlassung geben soll. Die Bedienungspulte werden öfters mit Schaltsäulen oder Instrumentensäulen

Digitized by Google

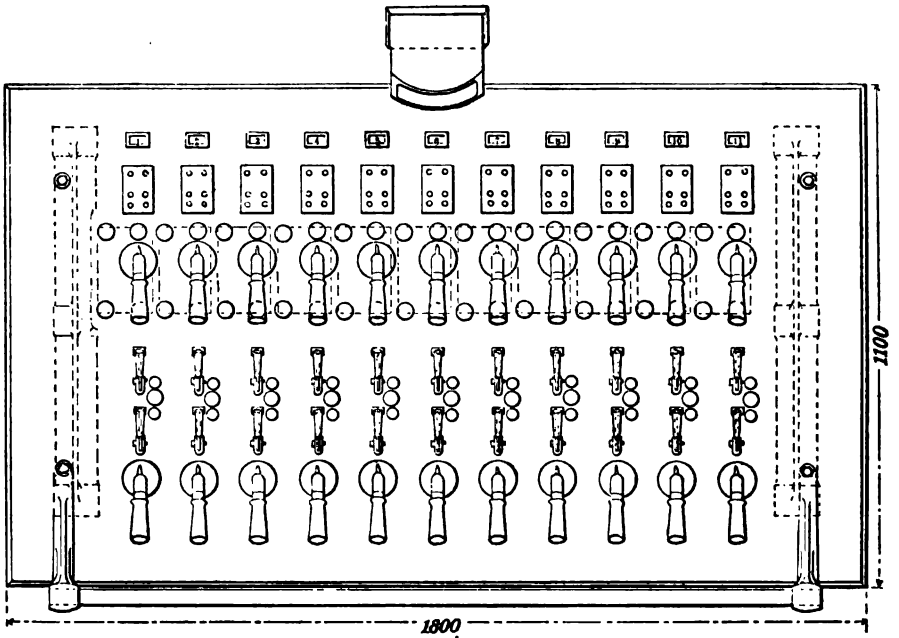


Fig. 69.

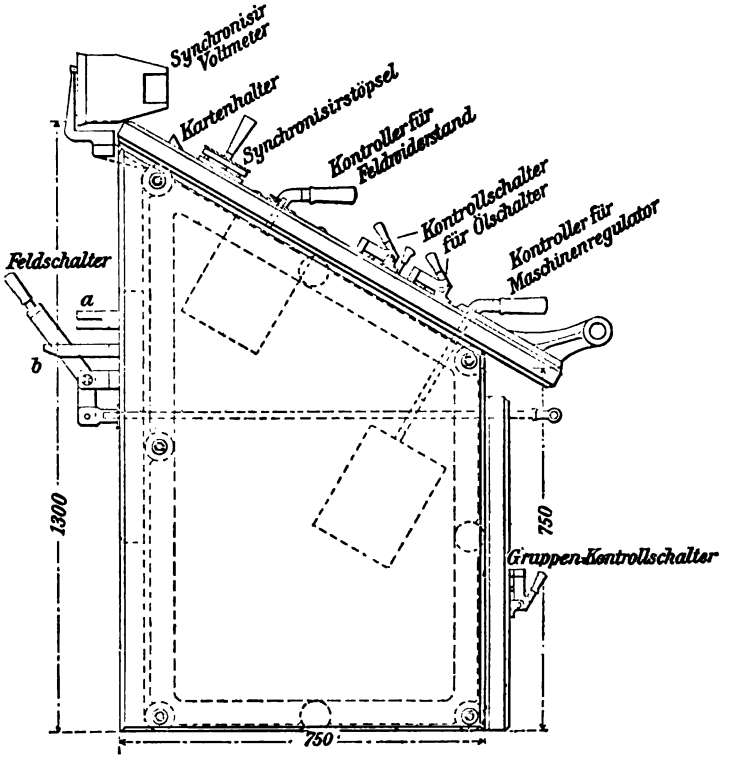


Fig. 70.
New-Yorker Hochbahn.

Digitized by Google

kombiniert, wie dies z. B. nach der schematischen Skizze (Fig. 71) bei der Brüsseler Straßenbahn und auch in neueren New-Yorker Zentralen ausgeführt ist. Zwischen den Säulen kann man bequem nach den Generatoren sehen. Oben auf den Säulen sitzt in der Mitte der Syn-

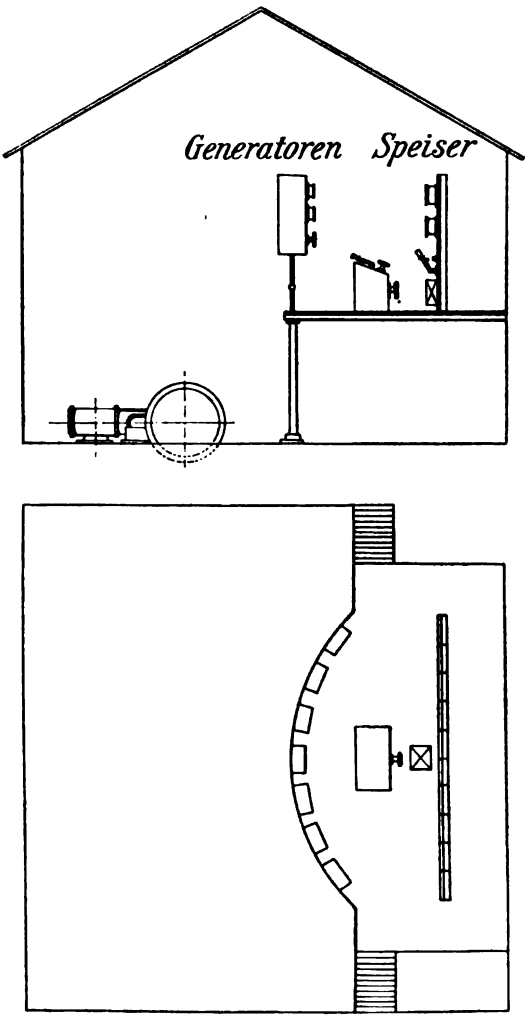


Fig. 71.

chronisierungszeiger. Auch in Fig. 72 [1]) sind die Synchronisierapparate auf Säulen oberhalb der Pulttafel angeordnet; diese Figur zeigt übrigens deutlich, daß die Pulttafel einen bequemen Ueberblick über das Maschinenhaus erlaubt.

[1]) Nach Eborall, loc. cit.

Digitized by Google

In neuerer Zeit entwirft die Westinghouse Co. ihre großen Schaltanlagen nach Fig. 73: Hinten steht die Flachschalttafel A für die Speiser

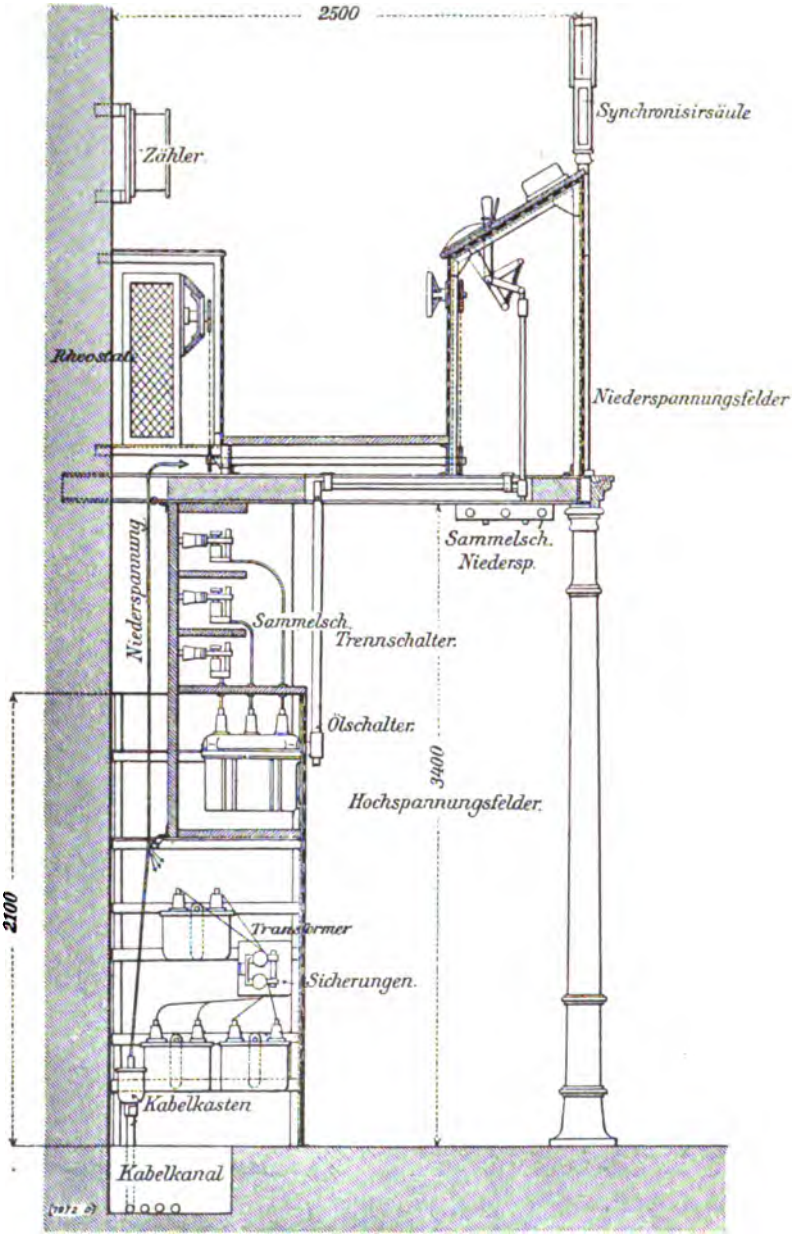


Fig. 72. Schalttafel nach Eborall.

mit den zugehörigen Instrumenten und Hilfsschaltern zur Kontrolle der Hochspannung, davor stehen nach der Anzahl Generatoren die Generator-

Digitized by Google

schaltständer B (pedestals) mit einer Grundfläche 400 × 400 mm und etwas weniger als Manneshöhe. Diese Ständer enthalten die Kontrollschalter für die Oelschalter, für die Feldschalter, für die Feldregler und die Dampfmaschinenregulatoren, Kontrolllampen, Synchronisier- und Voltmeterstöpsel. Am Schalttafelgeländer stehen die Instrumentensäulen C für die Generatoren und eine Sammelsäule D mit dem Stationsvoltmeter und den Synchronisierapparaten. Diese Säule D ist meist beliebig drehbar. In manchen Fällen wird auch noch eine besondere Säule mit einem Periodenvergleicher, dessen Durchmesser 1 m ist, aufgestellt.

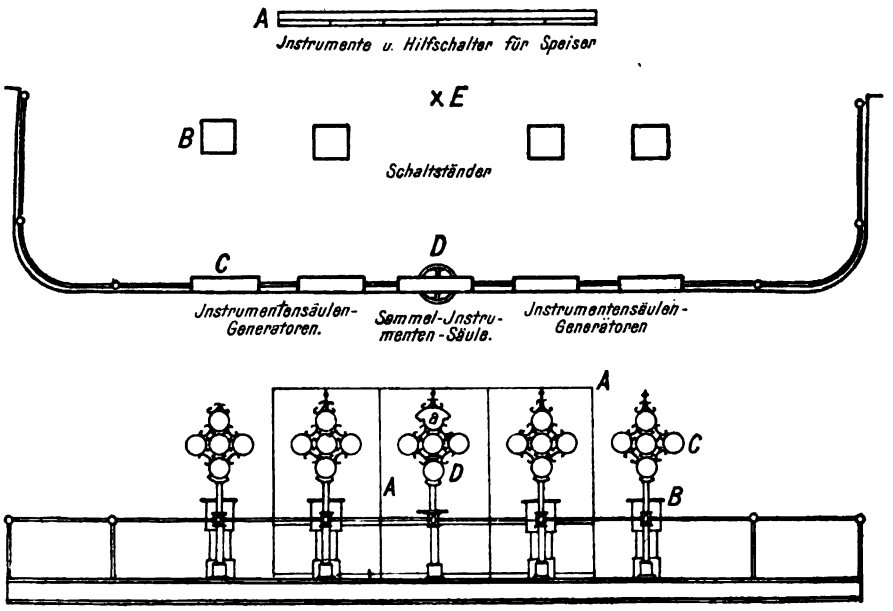


Fig. 73. Bedienungstafel der Westinghouse Co.

7a. An der drehbaren Schalttafel (Fig. 73a[1]) sind die einzelnen Tafeln mit den Sicherungen und Meßinstrumenten um einen Zapfen drehbar. Beim Herausdrehen werden überdies die Verbindungen mit den Zuleitungen unterbrochen. Die Fig. 73a entspricht im übrigen der als Zellensystem besprochenen Anordnung nach 4b. Einzelne drehbare Tafeln oder Wandarme findet man häufig in Schaltanlagen z. B. für die Synchronisiervorrichtungen (Fig. 73b).

7b. Fahrbare Schalttafeln sind neuerdings von der A. E.-G. Berlin auf Veranlassung von Prof. Klingenberg nach Fig. 74 u. 74a[2])

[1]) Nach Clothier, siehe Anm. S. 10.

[2]) Eine Photographie eines ausgeführten Schaltwagens siehe Z. f. E., Wien 1905, Heft 7, eine weitere Abbildung Fig. 115 in diesem Band.

Digitized by Google

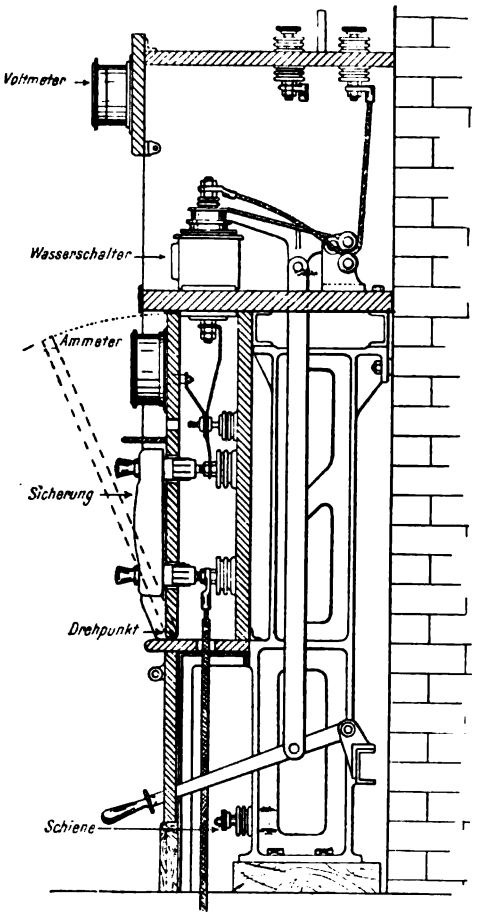


Fig. 73a.

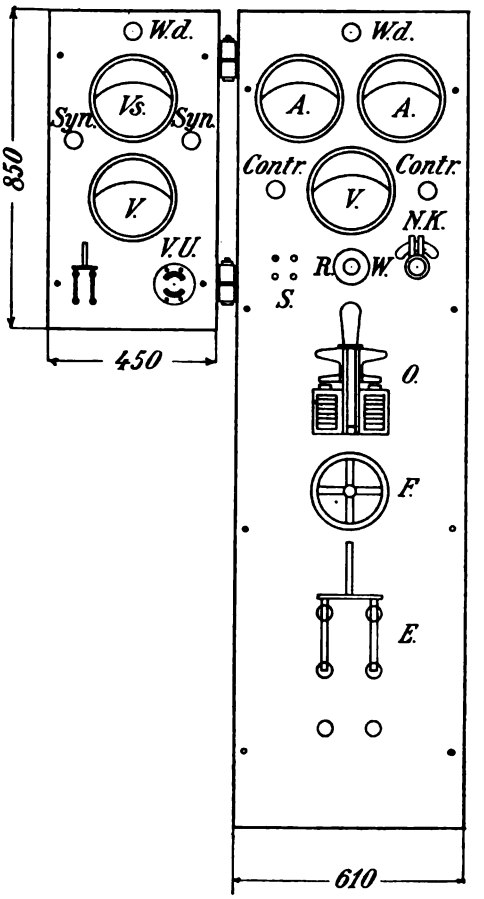


Fig. 73b. Union E.-G.

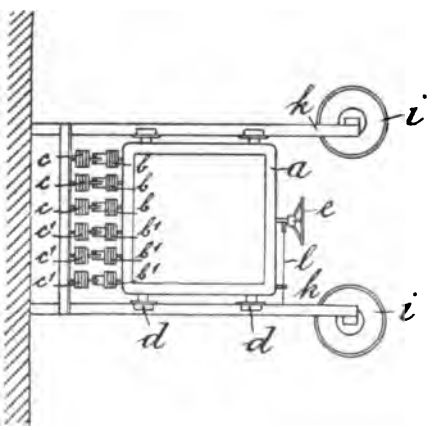


Fig. 74.

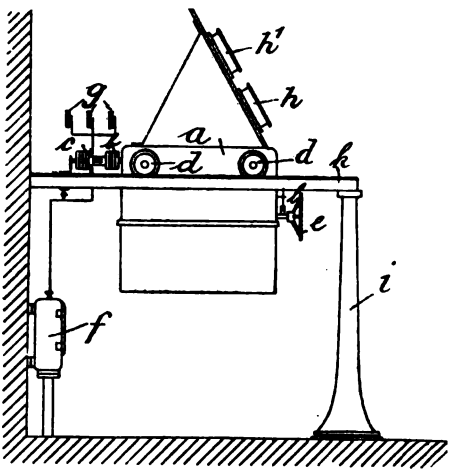


Fig. 74a.

Digitized by Google

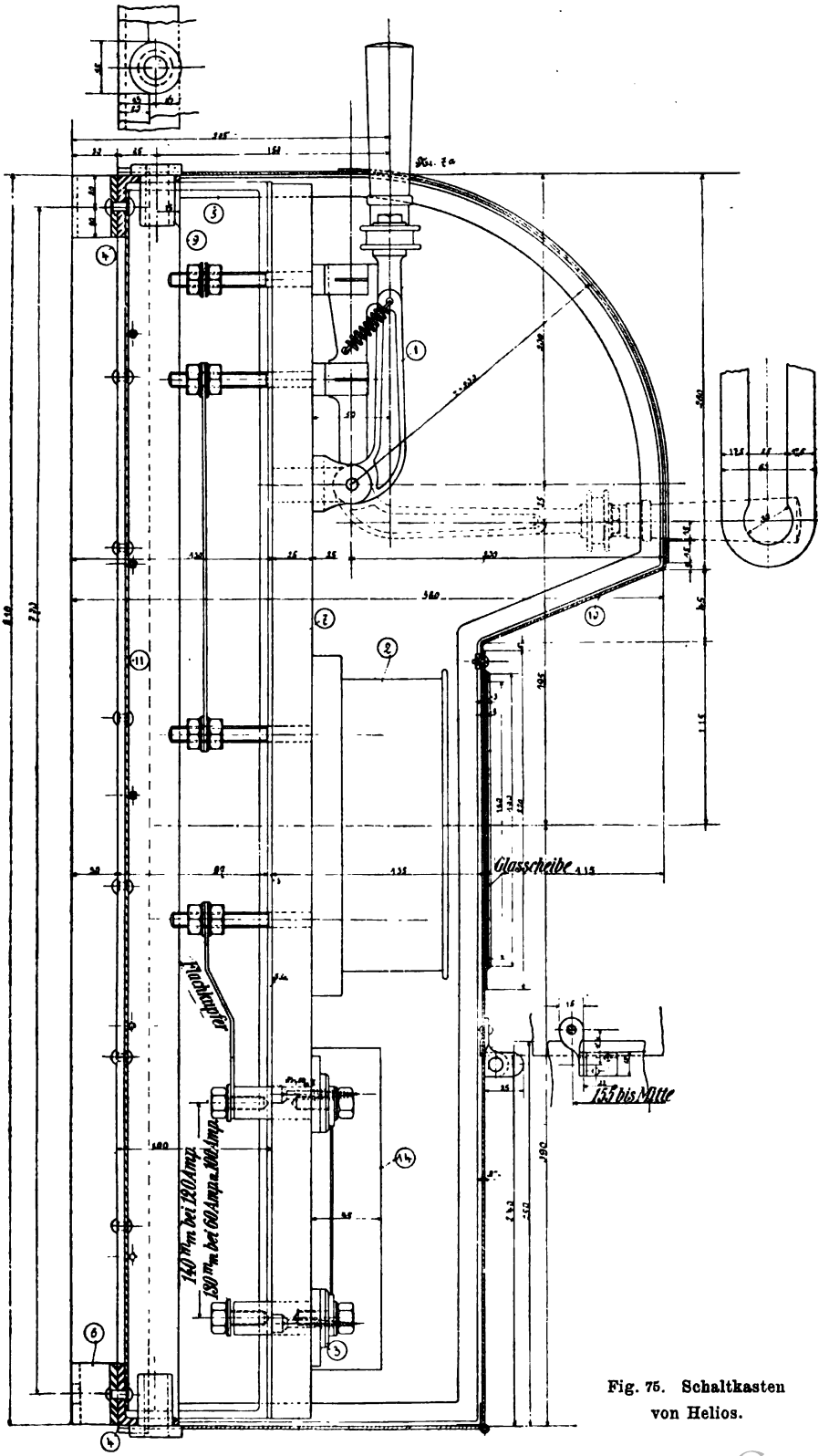


Fig. 75. Schaltkasten von Helios.

Digitized by Google

entwickelt worden, die dem englischen Patent 7713 vom Jahre 1903 entnommen sind. Dieses Schaltwagensystem ist in mancher Hinsicht eine Erweiterung der ausfahrbaren Sicherungen[1]), die die A. E.-G. schon längere Zeit baut. Sämtliche Apparate und Instrumente eines Generators und eines Speisers sind auf einem Wagen vereinigt, der auf der Rückseite mit Hilfe von Steckkontakten an die feststehenden Sammelschienen g angeschlossen ist. Zwischen dem Oelschalter e und der Ausfahrbewegung ist eine Verriegelung vorgesehen, die ein Ausfahren nur bei geöffnetem Schalter gestattet. Ist der Wagen ausgefahren, so ist sämtliches Zubehör der betreffenden Tafel vom Netz getrennt. Ein Schaltwagen von Lahmeyer-Frankfurt ist später abgebildet.

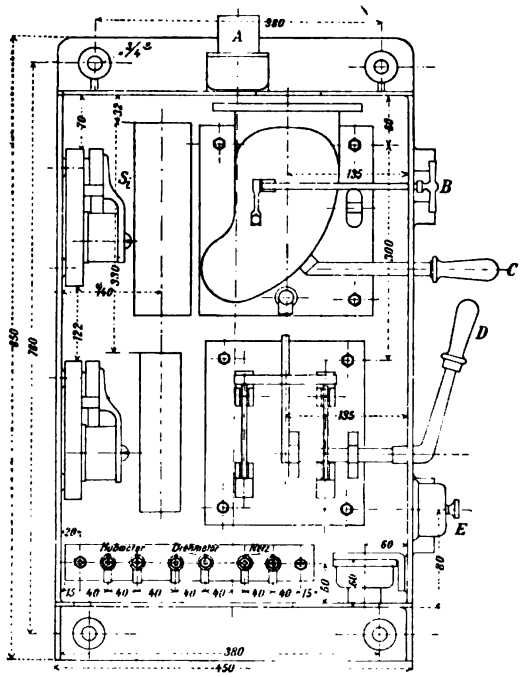


Fig. 76. Union E.-G. Fig. 77.

8. Schaltkästen, die wohl auch als abgeschlossene Säule ausgebildet sein mögen, kommen hauptsächlich für Motoren auf Kranen und in Bergwerken, d. h. in ungeschützten Räumen in Frage. Sie enthalten in der Regel einen von außen zu bedienenden Hauptschalter, Sicherungen oder einen selbsttätigen Schalter und wohl auch einen Strommesser. Der Deckelabschluß wird meist mit dem Hauptschalter derart verriegelt, daß die Innenseite nur bei geöffnetem Schalter zugänglich ist. Die Helios E.-A.-G. baut den in Fig. 75 gezeichneten

[1]) Siehe den Abschnitt „Sicherungen".

Digitized by Google

Schaltkasten aus vernietetem Eisenblech auf; derselbe enthält einen dreipoligen Schalter, 1 Ammeter und 3 Streifensicherungen auf einer Marmorplatte. Zwischen die einzelnen Sicherungsstreifen sind Schutzwände (14) vorgesehen. Das Ammeter ist durch eine Glasscheibe sichtbar. Die Ausführungen sind mit Porzellan- oder Gummihülsen ausgefüttert. Der Schaltkasten (Fig. 76 bis 78) ist von der Union Berlin

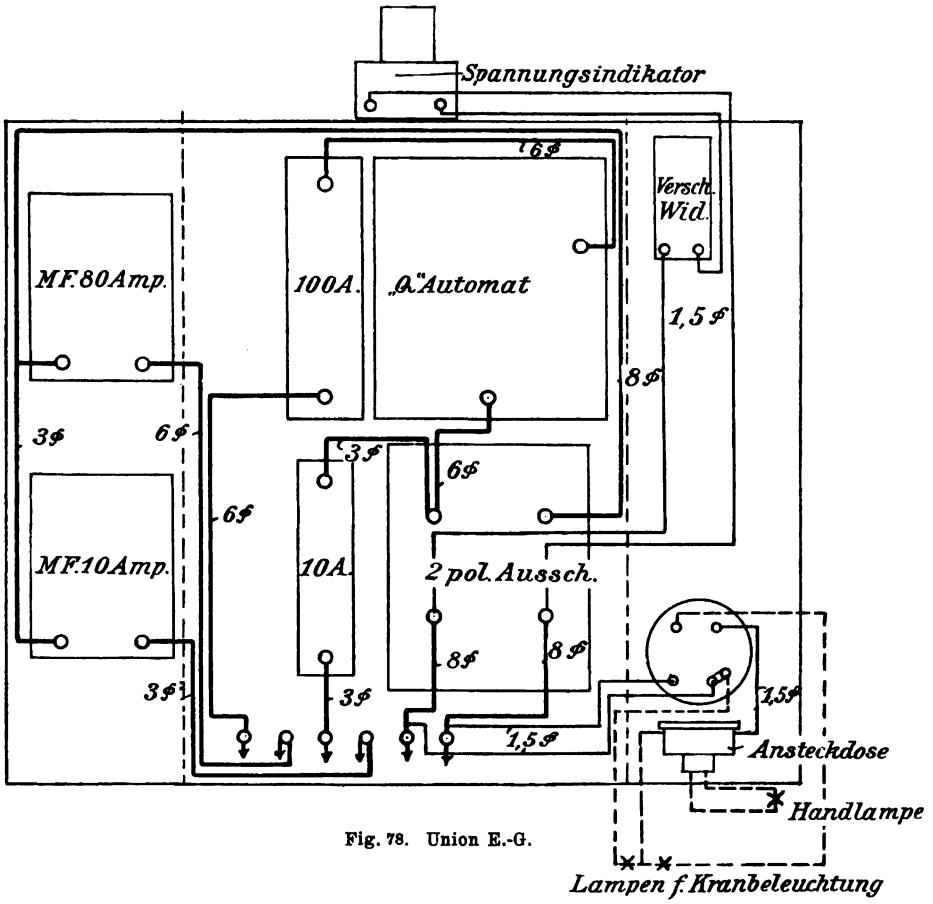


Fig. 78. Union E.-G.

für die neuen Hamburger Portalkrane gebaut worden. Sowohl der zweipolige Schnappschalter als der darüber liegende selbsttätige Schalter kann von außen bedient werden. Der Griff C dient zum Einschalten, B zum Auslösen des Automaten. Daneben sitzen vier Sicherungen Si mit elektromagnetischer Funkenlöschung. Auf dem Kasten sitzt ein Spannungszeiger A mit Vorschaltwiderstand. Unten ist ein kleines Marmorverteilungsbrett F und ein Steckkontakt zum Anschluß einer Handlampe mit Dosenschalter E vorgesehen. An Hand des Schemas

Digitized by Google

(Fig. 78), in dem auch die Drahtstärken eingeschrieben sind, ist die nachstehende Stückliste entworfen:

	Stück
Gehäuse mit Deckel	1
Automatischer Stromunterbrecher Type Q, Form 2, Cl. 50—100 Amp.	1
Spezialhebel C dazu	1
Ausschaltvorrichtung B dazu	1
Befestigungsschrauben $^3/_8$" — 16 Gew.[1]), 48 mm lang, sechskantiger Kopf mit Unterlagscheiben	3
Momentschalter für 100 Amp. mit Spezialschaltvorrichtung D	1
Marmorplatte dazu 250 × 200 × 20 mm, Kanten poliert	1
Befestigungsschrauben $^5/_{16}$" — 18 Gew., 35 mm lang, sechskantiger Kopf mit Scheibe	4
einpolige Sicherung für 100 Amp. SN.	1
Patronen dazu „ 80 „ SSN.	3
einpolige Sicherung „ 30 „ SN.	1
Patronen dazu „ 10 „ SSN.	3
Sicherung Type MF, Form 2 für 100 Amp. auf Marmorplatte montiert	1
„ „ „ „ 2 „ 50 „ „ „ „	1
Patronen für Type MF für 80 Amp.	3
„ „ „ „ „ 10 „	3
Befestigungsschrauben $^3/_8$" — 16 Gew., 25 mm lang, zylindrischer Kopf	6
Dosenumschalter	1
Anschlußdose	1
Flacheisenwinkel 60 × 8 mm, 130 mm lang, bei 100 mm umgebogen	1
Spannungsindikator	1
Flacheisenwinkel 75 × 6 mm, 80 mm lang, bei 30 mm gebogen	1
Anschlußstöpsel	1
Vorschaltwiderstand für Spannungsindikator	1
Verbindungsbrett, Marmor, 50 × 30 mm, 310 mm lang, Kanten poliert	1
Kabelschuh P_3	8
„ P_1	4
Verbindungsbolzen, 65 lang, $^3/_8$" Durchmesser, an beiden Seiten $^3/_8$" — 16 Gew., Messing	4
Muttern dazu, $^3/_8$" Gew., 6 mm hoch, Messing	16
Verbindungsbolzen, 65 lang, 5 mm Durchmesser, an beiden Seiten 10—24 Gew., Messing	2
Muttern dazu, 10—24 Gew., Messing	8
Kupferverbindungen: 8 Durchmesser ca. 1600 mm lang, 6 Durchmesser ca. 1300 mm lang, 3 Durchmesser ca. 700 mm lang, 1,5 Durchmesser ca. 1700 mm lang.	
Befestigungsschrauben $^3/_8$" — 16 Gew., 100 mm lang mit sechskantigem Kopf, mit Scheibe für Verbindungsbrett	2
Gasrohr $^3/_8$" lichter Durchmesser, 50 mm lang, für Verbindungsbrett	2
Befestigungsschrauben für Sicherungen SN., $^5/_{16}$"—18 Gew., 25 mm lang, mit halbrundem Kopf	4

Ein normaler Schaltkasten der Siemens-Schuckertwerke mit Strommesser, Ausschalter und Sicherungen ist in Fig. 79 mit geöffnetem

[1]) Gew. = Gewindegänge.

Digitized by Google

Deckel und in Fig. 80 mit abgenommener Verkleidung abgebildet. Derselbe ist auch für feuchte Räume geeignet und besitzt doppelte Verriegelung, d. h. der Schalter kann nur bei geschlossenem Kasten geschlossen und der Kasten nur bei offenem Schalter geöffnet werden (D. R.-P. 108387).

Fig. 79.

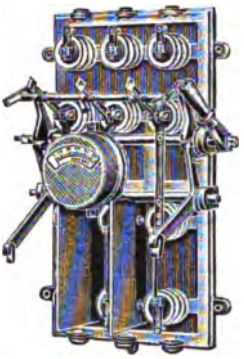


Fig. 80.

Siemens-Schuckert.

Die Verriegelungsvorrichtung erkennt man aus den Fig. 81 bis 83, und zwar zeigt Fig. 81 die Verriegelung der Türe durch die Schalterachse,

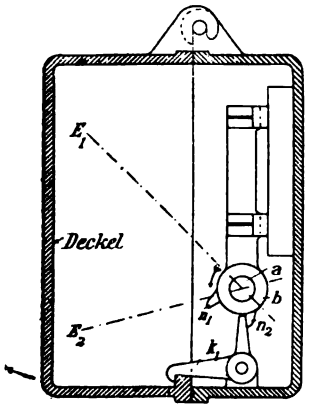


Fig. 81.

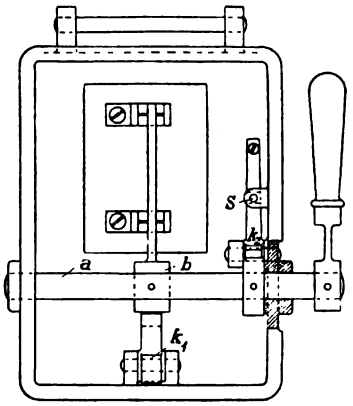


Fig. 82.

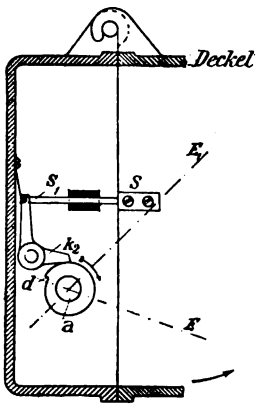


Fig. 83.

in Fig. 83 ist dagegen das Sperrwerk des Schalters gezeichnet und zwar bei geschlossenem Schalter. Oeffnet man den Deckel des Kastens, so schnappt die Klinke k_2 in die Nase d, die bei offenem Schalter unter k_2 liegt, so daß die Schalterachse nicht bewegt werden kann. Die

Digitized by Google

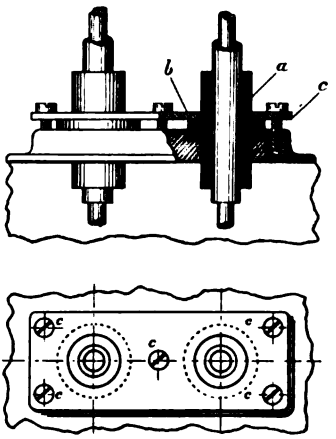


Fig. 83a.

Voigt & Häffner.

Fig. 84.

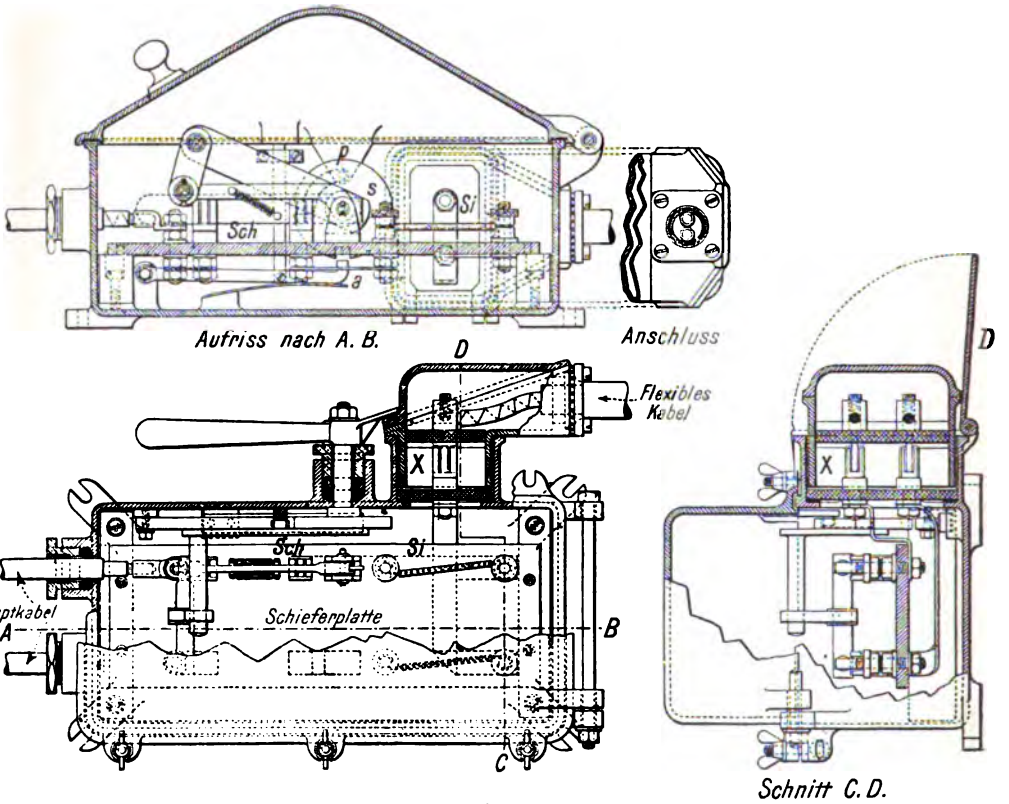


Fig. 85.

Digitized by Google

beiden Verriegelungen können auch konstruktiv vereinigt werden. Die Ausführungen aus den Schaltkästen bilden Voigt & Häffner nach Fig. 83a wasserdicht aus. Die isolierten Leiter passieren durch Isolationshülsen a, die durch eine Schiene b festgepreßt sind [1]).

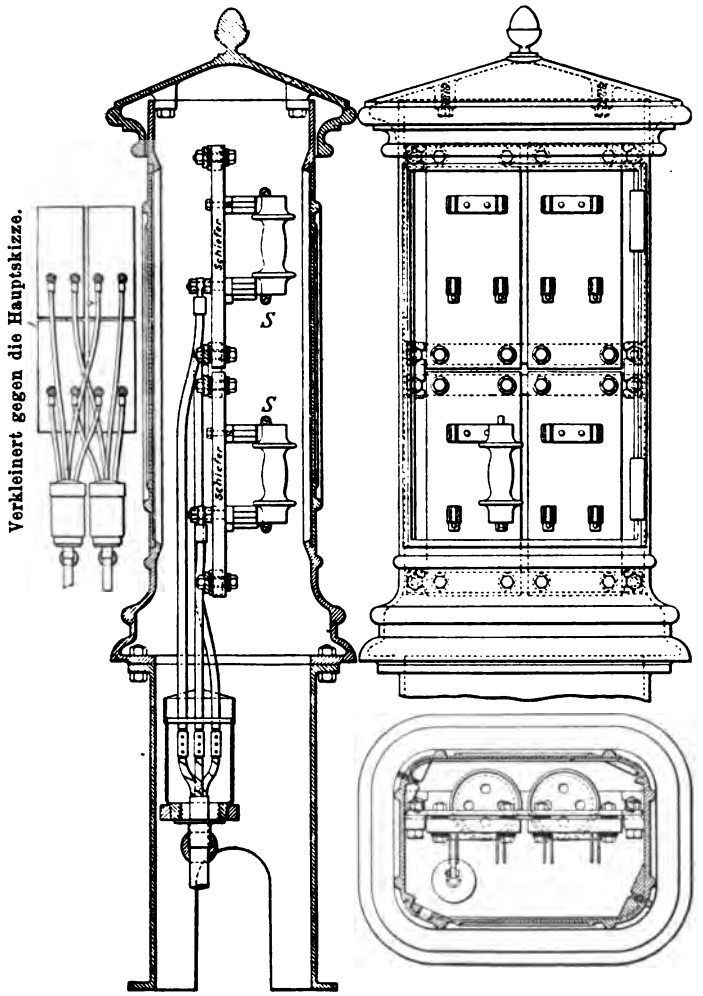


Fig. 86.

Hier sind auch die sogenannten Hausanschlußkästen, die gewöhnlich nur Sicherungen enthalten, zu erwähnen, z. B. Fig. 84 von Voigt & Häffner. In Hüttenwerken kann luftdichter Abschluß dieser Kästen verlangt werden. Einen solchen Grubenschaltkasten der St. Helens Cable Co. mit gasdichtem Abschluß stellt nach Electrician

[1]) Ein Anschlußkasten für transportable elektrische Arbeitsmaschinen der A. E.-G. ist aus D. R.-P. 130966 zu ersehen.

Digitized by Google

8. Juli 1904 die Fig. 85 dar. Auch hier kann der Schalter Sch nur geschlossen werden, wenn der Deckel zu ist. Zu diesem Zweck ist der Stift p am Deckel vorhanden, der in einen Schlitz einer auf der Schalterachse sitzenden Scheibe s paßt. Bei geschlossenem Schalter sitzt p am Ende des Schlitzes, bei offenem Schalter steht jedoch der ganze Hub des Deckels frei. Will man nun aber bei offenem Deckel den Schalter schließen, so stößt die Scheibe s gegen den Stift p. Die Hauptkabel werden durch dichte Abschlüsse zu dem auf einer Schieferplatte montierten Schnappschalter und den Sicherungen Si geführt. Die Ableitung des flexiblen Kabels geschieht mit Hilfe eines Steckkontaktes X, der nach Gebrauch durch den Deckel D abgeschlossen wird.

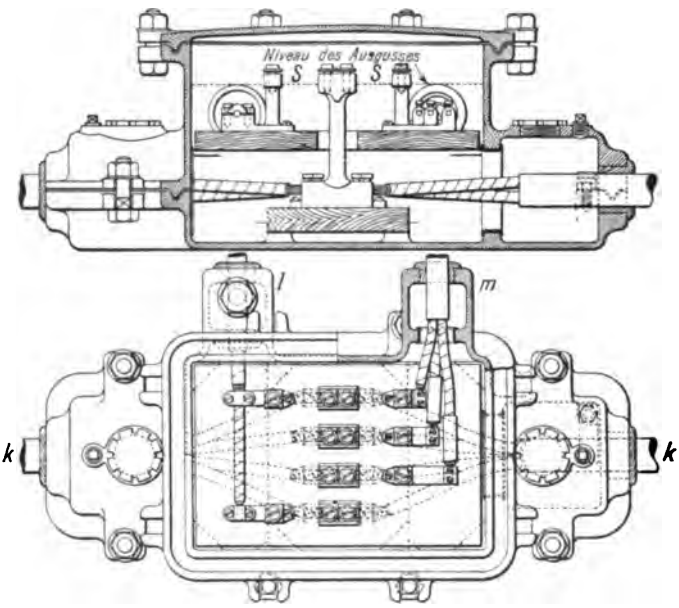


Fig. 87.

Zu dieser Klasse von Schaltanlagen kann man noch die Kabelverteilungskästen und Transformatorenhäuschen in Verteilungsnetzen rechnen. Der Verteilungskasten Fig. 86 (Electrician 9. Okt. 1903) ist für einen Kabelanschluß von 2000 Volt bestimmt und enthält auf einer Schiefertafel vier Sicherungen S. Einen Anschlußkasten derselben Anlage zur Abzweigung einer Licht- (l) und einer Motoranlage m von einem Niederspannungsverteilungskabel k zeigt die Fig. 87, in der auch das Niveau der zum Ausgießen bestimmten Compoundmasse eingezeichnet ist. Oberhalb derselben sitzen vier Streifensicherungen S. Sicherungen in solchen Kästen sollte man allerdings gründlich isoliert abdecken, da sonst der Lichtbogen auf die Eisenteile überschlägt. Es

Digitized by Google

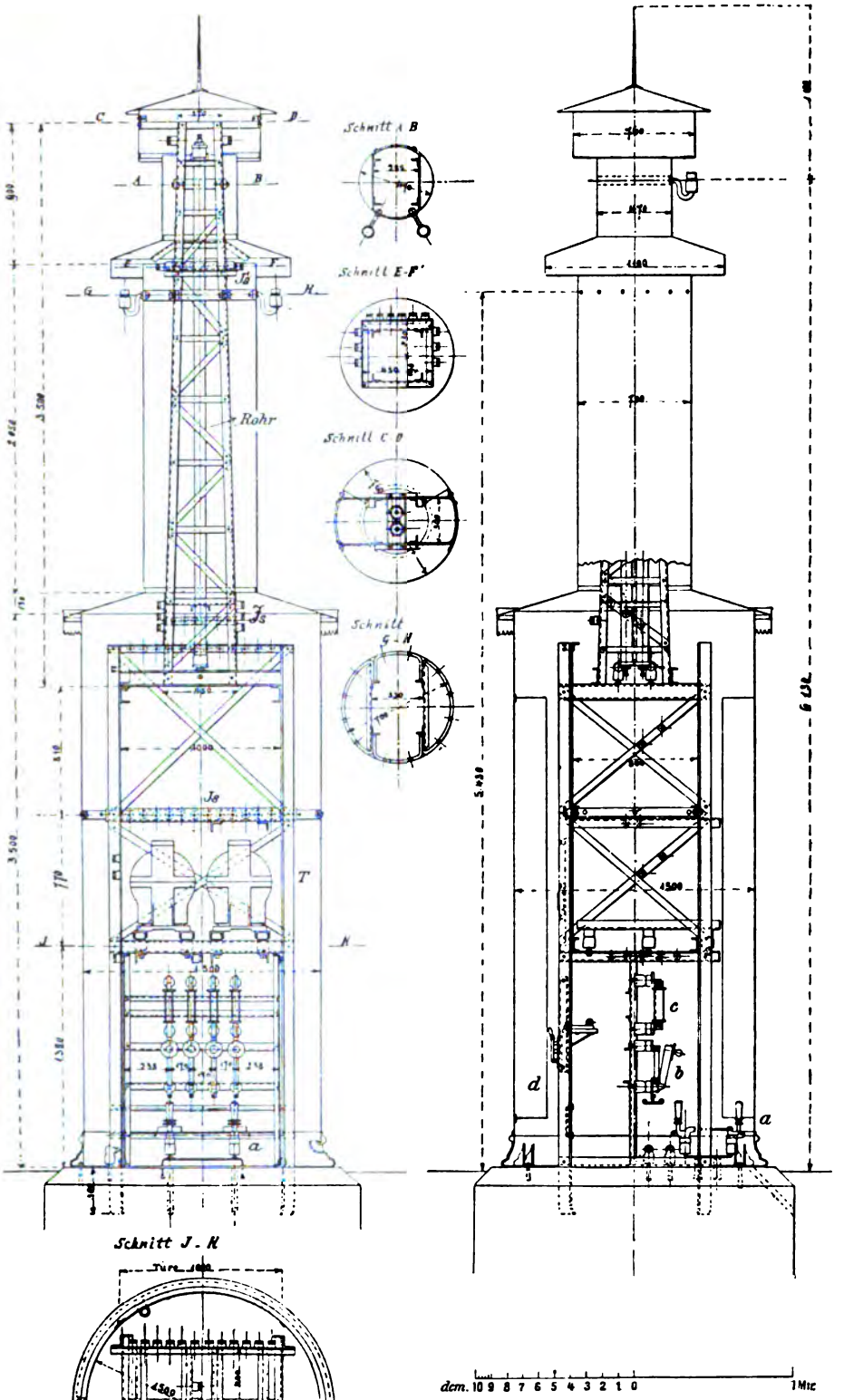


Fig. 88. Maschinenfabrik Oerlikon.

Digitized by Google

ist überhaupt fraglich, ob es angezeigt ist, Sicherungen in solch engen Kästen zu verlegen. Das Transformatorenhäuschen (Fig. 88) ist von der Maschinenfabrik Oerlikon für die Zentrale Boudry entworfen worden. Es besteht aus einem L- und C-Eisengerüst mit Blechabdeckung. Ganz unten sitzen die Blitzschutzvorrichtungen a, darüber die Einzelschalter b und die Sicherungen c, dann die Transformatoren T und daran schließt sich der Turm. Die Niederspannung mit den Schaltern d liegt auf der anderen Seite, der Hochspannung gegenüber. Die Leitungen liegen zum Teil auf Isolierrollen Is, zum Teil verlaufen sie längs des Turmes in Röhren; die Ausführungen zur Freileitung sind für Hoch- und Niederspannung durch Vorsprünge abgedeckt. Die für den Rheinhafen Karlsruhe verwendeten Transformatorensäulen (Fig. 89) rühren von der Ges. für el. Ind. her. Die Sicherungen sind auf einem ringförmigen Eisengestell untergebracht; c sind die Hochspannungssicherungen in den Speisekabeln, d die Hochspannungssammelschienen; vor jedem Transformator f sind noch besondere Sicherungen e für 4000 Volt angeordnet. In dem Raum N liegen die Niederspannungsapparate.

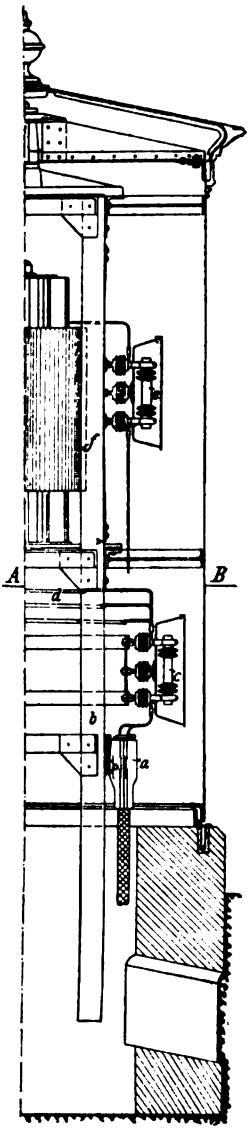
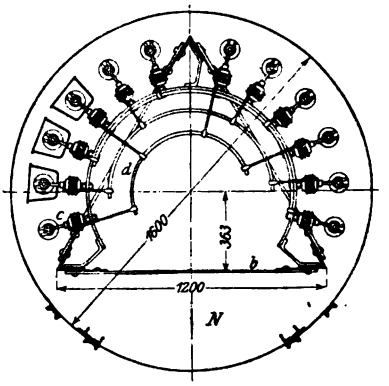


Fig. 89.
Ges. für elektr. Industrie Karlsruhe.

In Amerika sind sowohl von der Gen. El. Co. als von der Westinghouse Co. für Bahnzwecke fahrbare Unterstationen ausgeführt worden. In einem Eisenbahnwagen (Fig. 90[1]), der nach der Stelle gefahren werden kann, an der gerade zufällig, z. B. an einem Festtage, ein großer Strombedarf ist, enthält einen luftgekühlten Hochspannungstransformator AB zum Anschluß an das bestehende Hochspannungsnetz von 26400 Volt, und einen rotierenden Umformer R, sowie alle zur Regulierung und Messung erforderlichen Apparate, d. h. Oel-



[1]) Nach Eichel, Elektrische Bahnen 1904.

Digitized by Google

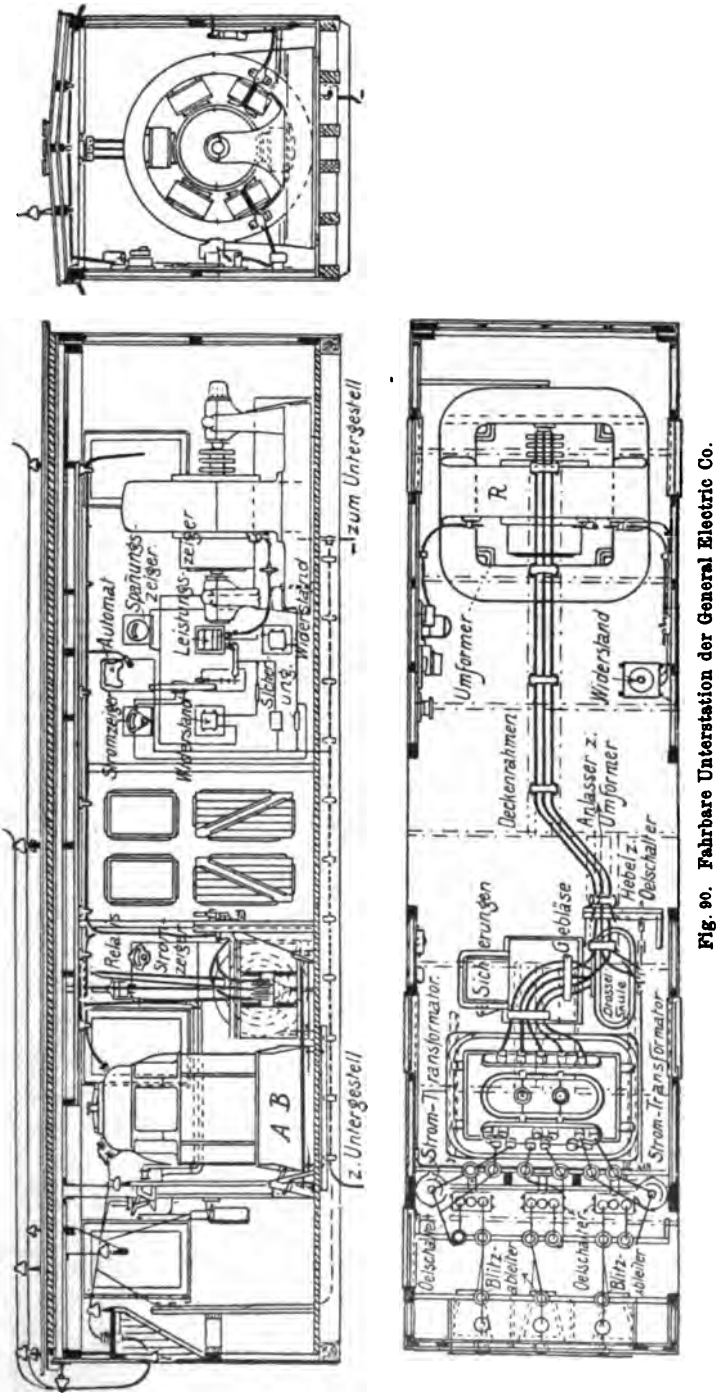


Fig. 90. Fahrbare Unterstation der General Electric Co.

Digitized by Google

schalter, Meßtransformatoren und -instrumente, Widerstände, Drosselspulen und Blitzschutzvorrichtungen.

3. Bedienung.

Die Bedienung der Apparate, Schalter und Regler kann in folgender Weise geschehen:

1. direkt von Hand mit Hilfe von Schalthebeln oder Handrädern;
2. durch Fernübertragung (remote control) und zwar
   a) vermittels Gestänge oder
   b) vermittels Seil- und Kettenzügen, ähnlich wie bei den Stellwerken für Eisenbahnweichen, oder aber
   c) durch kleine Elektromotoren in der Regel mit Schneckenantrieb oder
   d) durch Elektromagnete oder schließlich
   e) durch Druckluft. Die Uebertragung mit Hilfe gepreßter Luft hat man für Schaltanlagen allerdings meist wieder aufgegeben.

In neueren großen Schaltanlagen sieht man, wie dies aus den oben angeführten Beispielen hervorgeht, häufig besondere Bedienungstafeln vor, von denen aus durch Hilfsschalter und Hilfsstromkreise von in der Regel 110—130 Volt die gesamte Betätigung der Regulatoren und der im Hauptstrom liegenden Schalter erfolgt. In einigen großen Zentralen Amerikas hat man die Bedienungstafel mit einem Miniaturbild der Hochspannungsschaltanlage versehen, d. h. sämtliche Operationen im Hochspannungskreise wurden zur Kontrolle vor den Augen des Wärters durch entsprechende Niederspannungsapparate kopiert. Diese Spielerei ist jedoch meist wieder aufgegeben. Die Bedienungstafel liegt entweder auf gleicher Höhe mit dem Maschinenhausboden oder einige Stufen höher (Fig. 48) oder aber ein bezw. mehrere Stockwerke höher (Fig. 57a u. 51), von wo aus ein bequemer Ueberblick über die ganze Maschinenanlage möglich ist. In langen Maschinenhäusern legt man die Schalttafeln zweckmäßig etwas vorspringend parallel zur Längsachse, sie kann aber auch an einem Maschinenhausende quer liegen, nur soll sie nicht in einer Nische versenkt und im Raum beengt sein. In größeren Anlagen findet man öfters für die Erregung eine besondere Erregerschalttafel, die im Maschinenhaus in der Nähe der Erreger steht (Fig. 51, H).

Es ist üblich, daß man nach Fig. 91 für jeden Generator, jeden Speiser, die Erregung und für die Batterie ein Schaltfeld oder eine Schaltsäule vorsieht und außerdem ein zu den Sammelschienen gehöriges Sammelfeld, ein oder mehrere Synchronisierfelder oder -drehtafeln und

Digitized by Google

wohl auch einige Reservefelder. Der Anbau einer Synchronisiertafel ist aus Fig. 73b ersichtlich: V_s = Synchronisiervoltmeter, Syn = Phasenlampen, V = Voltmeter, VU = Voltmeterumschalter, Wd = Wandarm

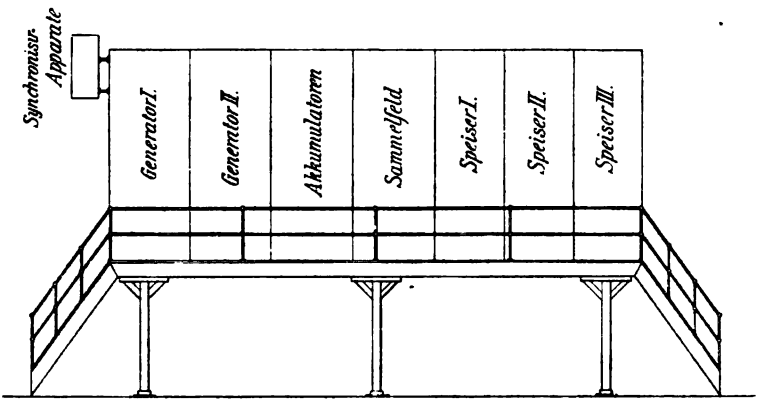


Fig. 91.

mit Glühlampe, A = Ammeter, RW = Feldregler, NK = Feldkreisschließer, O = automatischer Oelschalter, F = Feldregler, E = Erregerschalter. Besondere Erregertafeln findet man von 20 KW Erreger-

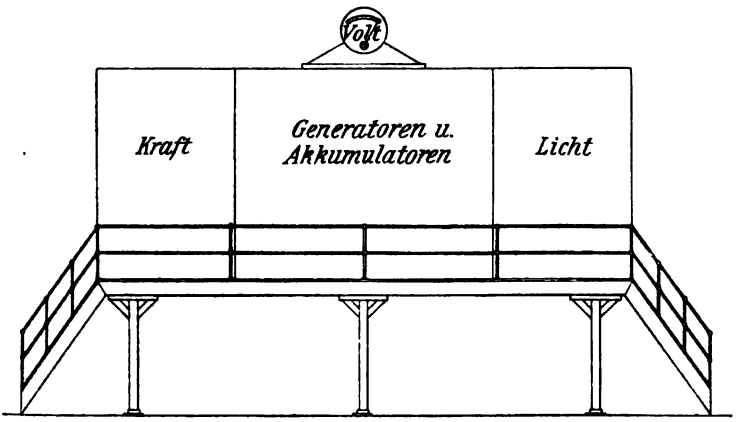


Fig. 92.

leistung aufwärts. Bei kleineren Erregerleistungen montiert man die Erregerapparate auf die Generatortafeln. Die Blitzableiter montiert man gewöhnlich ganz für sich abseits von der Schalttafel. In manchen Anlagen vereinigt man auch alles Zubehör je für die Motoren oder Generatoren und je für gewisse Speisergruppen (Licht-, Kraft- und Bahn-

Digitized by Google

betrieb) auf einem großen Feld (Fig. 92). Man trennt manchmal auch Generator- und Speisetafeln vollständig voneinander (Fig. 47a u. 73), derart, daß die ersteren in der Nähe der Maschinen liegen, die anderen

Fig. 93. E.-A.-G. Alioth.

werden mehr mit Rücksicht auf geeignete Abführung der Speiser verlegt. Der extremste Fall ist wohl der, daß jeder Generator in seiner unmittelbaren Nähe seine eigene Schalttafel oder Schaltsäule erhält

Digitized by Google

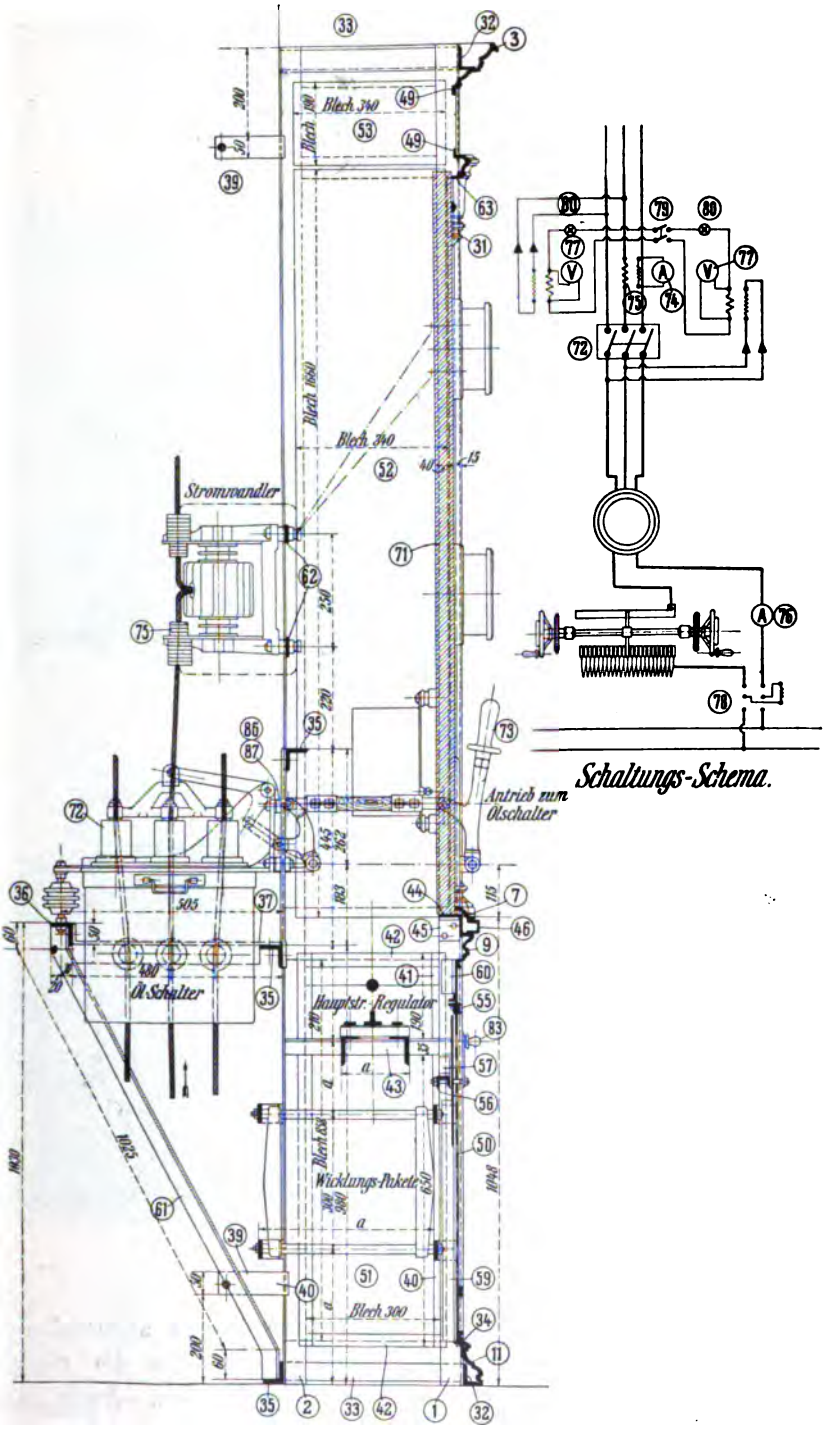


Fig. 94. E.-A.-G. Alioth.

Digitized by Google

(Fig. 67). Die E.-A.-G. Alioth hat in der Zentrale Hautrive bei Fribourg (Schweiz) neben jeden Generator eine umrahmte Schalttafel, deren Vorder- und Rückseite in Fig. 93 u. 94 abgebildet ist, gestellt. Die Generatoranschlüsse kommen von unten, die Ableitung geht nach den

Fig. 95. E.-A.-G. Alioth.

Sammelschienen ein Stockwerk höher in einen langen abgeschlossenen Raum (Fig. 95), von dem aus vermittels Oelschalter die einzelnen Speiser zu einem Freileitungsturm abgezweigt werden. Auch in der Zentrale Chèvres bei Genf hat man nach dem Brand des zentralen Schalt-

Digitized by Google

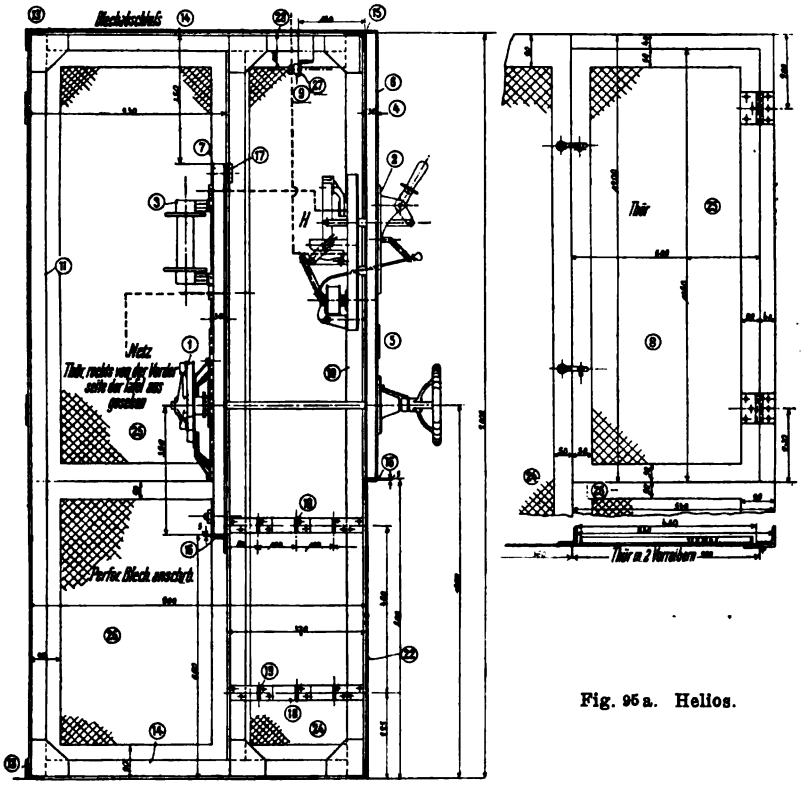
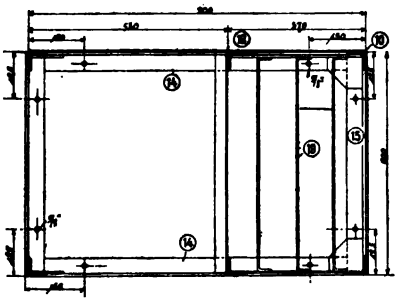


Fig. 95a. Helios.



bretts vor jedem Generator ein in sich mit perforiertem Blech abgeschlossenes Schaltfeld aufgestellt.

Ein derartiges Motorschaltfeld ist nach Fig. 95a von der E.-A.-G. Helios für den Eschweiler Bergwerksverein ausgeführt, dasselbe enthält folgende Teile:

Position	Stück	Gegenstand
1	1	Drehstromanlasser, Type DA III, ohne Platte
2	1	Drehstromminimalautomat, 200 Amp.
3	1	dreipolige Sicherung, Type HS, 200 Amp.
4	1	Amperemeter, 150 Amp., Nr. 11553
5	1	Firmenschild Nr. 108
6	1	Marmorplatte 1200 × 600 × 30 mit Fassetten
7	1	„ 1000 × 590 × 30 ohne „

Digitized by Google

Position	Stück	Gegenstand
8	1	Tür 1160 × 500 mm mit Bänder und Vorreiber, mit Blech Pos. 25
9	3	Isolatoren Nr. 975
10	2	L-Eisen 50 × 50 × 7, 2000 mm lang
11	2	„ „ 1985 „ „
12	2	„ „ 1900 „ „
13	2	„ „ 600 „ „
14	4	„ „ 800 „ „
15	2	„ „ 500 „ „
16	2	„ 50 × 30 × 4, 600 „ „
17	1	Flacheisen 50 × 8 585 „ „
18	4	„ 40 × 6 355 „ „
19	6	„ „ 660, „ „
20		Laschen, Nieten, Schrauben
21	8	Steinschrauben $^5/_8$", 200 mm lang
22	1	perforiertes Blech 1,5 mm stark, 800 × 600
23	12	Befestigungsschrauben $^3/_8$", vernickelt
24	1	perforiertes Blech 1,5 mm stark, 2000 × 360
25	1	„ „ „ „ 1160 × 500 für Position 8
26	1	„ „ „ „ 800 × 540
27	1	L-Eisen 50 × 50 × 5, ca. 800 mm lang
28	1	Blechabdeckung

Thury geht in seinen Anlagen mit konstantem Strom noch einen Schritt weiter, er montiert eine Schaltsäule mit den Meßinstrumenten samt Nebenschlußwiderstand auf das Maschinengestell (siehe z. B. Niethammer, Mod. Ges. f. d. E. elektr. Masch. u. App. Fig. 14 u. 67), außerdem steht eine Säule mit dem Ausschalter neben der Dynamo.

4. Schaltungsschemen.

Den Entwurf einer Schaltanlage beginnt man mit einem klaren Schaltungsschema entsprechend der vorhandenen Anzahl von Generator- und Speisereinheiten. Solche Schaltungsschemen sind bereits in den Fig. 6, 17, 28, 33, 42, 50a 78, Tafel I u. II dargestellt. In dieselben sind sämtliche Instrumente und Apparate, sowie die Stromstärken, Spannungen, Typen und ähnliches, alle Leitungen mit ihren Querschnitten, ferner die Leistungen und Bezeichnungen der Generatoren, Motoren und Akkumulatoren einzutragen. Die zwei Fig. 96 u. 97 zeigen Schaltungsschemen der Gen. El. Co., in welche die Maschinen und Apparate in ihrer richtigen Form bildlich eingezeichnet sind; sie sind deswegen speziell anschaulich. In Fig. 96 wird in der Zentrale hochgespannter Drehstrom erzeugt, welcher in Unterstationen durch Transformatoren und

Digitized by Google

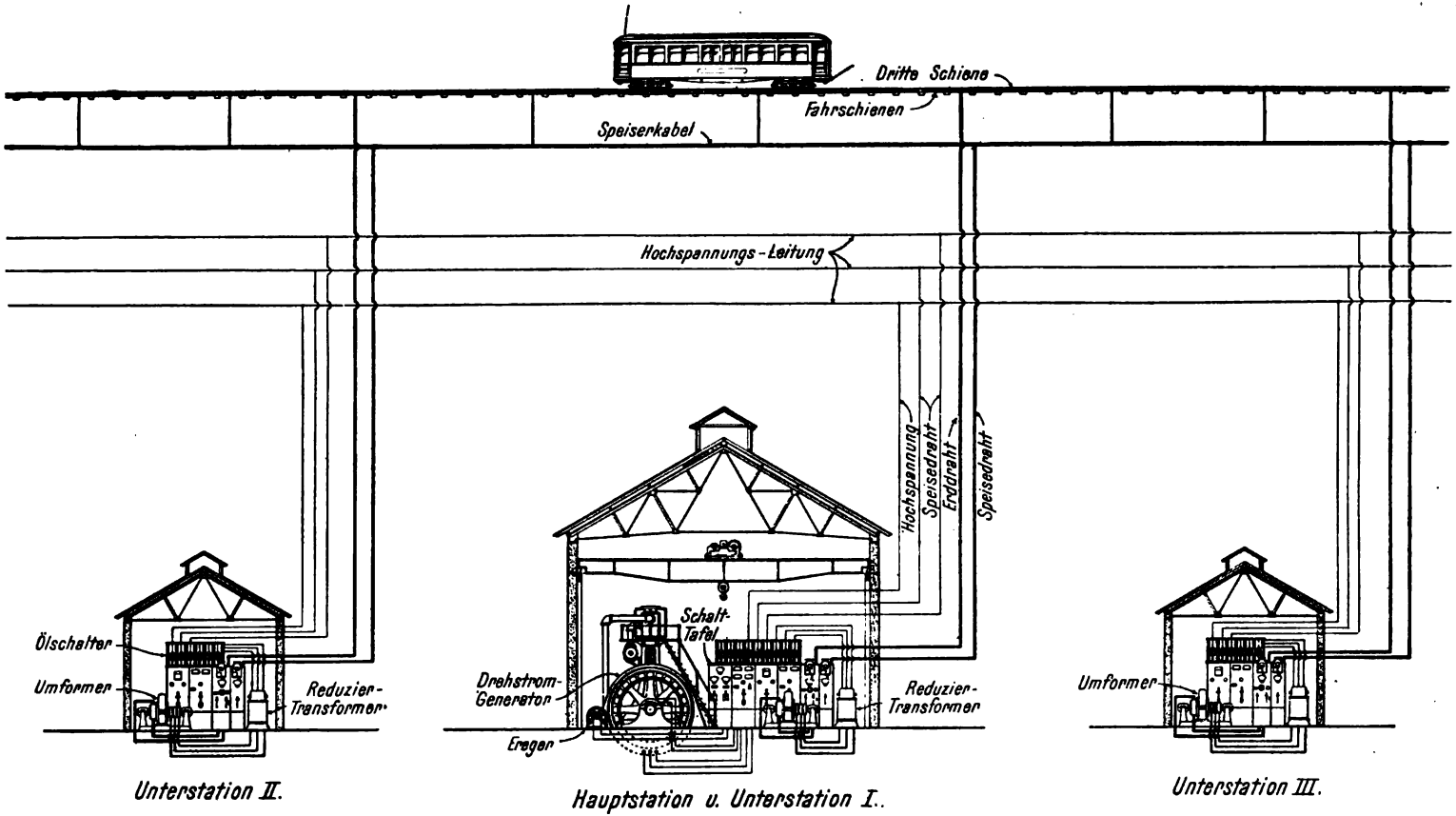


Fig. 96. General Electric Co. N.-Y.

Digitized by Google

rotierende Umformer zur Speisung von Bahnen in Gleichstrom umgewandelt wird. Links am Schaltbrett sind je die Drehstromfelder, rechts die Gleichstromfelder, dahinter die Oelschalter. Fig. 97 zeigt eine

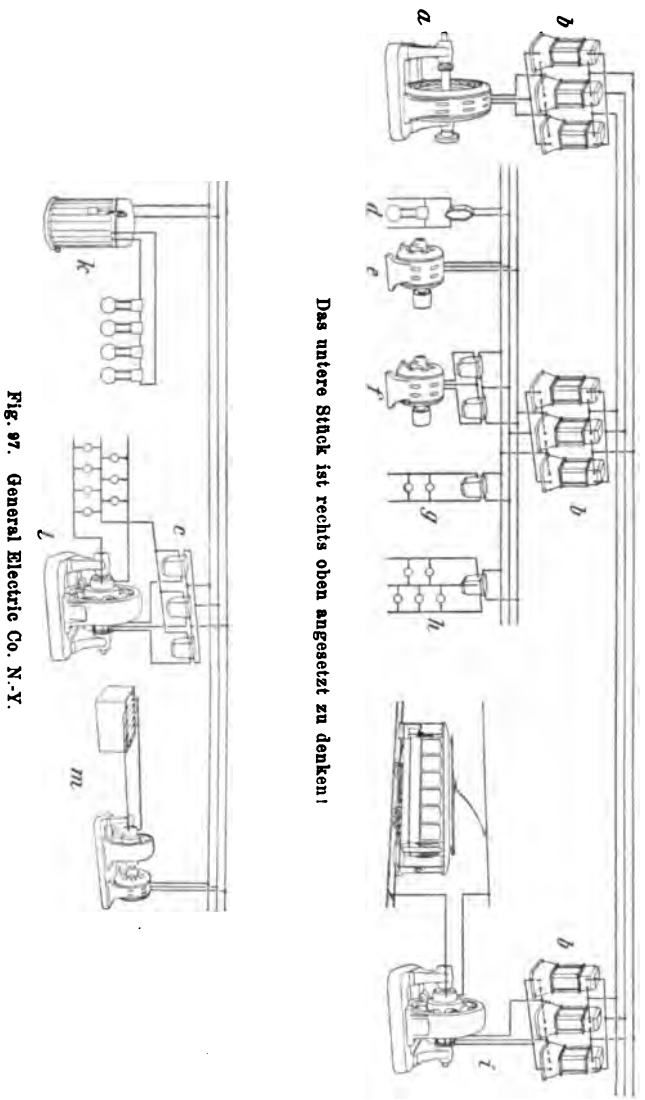


Fig. 97. General Electric Co. N.-Y.

Verteilung von hochgespanntem Drehstrom zur Speisung von Motoren, Umformern und Beleuchtungsanlagen:

a = Drehstromgenerator, b = luftgekühlte Transformer, c = Oeltransformer, d = Einzelbogenlampe mit Autotransformer, e = Hochspannungsmotor, f = Motor mit zwei Einzeltransformern, g = Glühlampen, einphasig, h = Dreileiterglühlampen, i = Einankerumformer

Digitized by Google

für Bahnbetrieb, k = Umformer in konstanten Strom, l = Umformer für Dreileiterbeleuchtung, m = Motorgenerator für elektrochemische Zwecke.

Fig. 98 entspricht einer ganz kleinen 50pferdigen Fabrikzentrale der Siemens-Schuckert-Werke mit einer Gleichstromdynamo und einer Akkumulatorenbatterie, die zur Ladung in drei Teile zerlegt wird, und zwar werden zwei Abteilungen parallel geschaltet und die dritte dahinter, so daß die Dynamo mit ihrer normalen Spannung zum Laden benützt werden kann. Um den Strom in den zwei parallelen Batteriehälften justieren zu können, ist ein Ausgleichswiderstand vorgesehen.

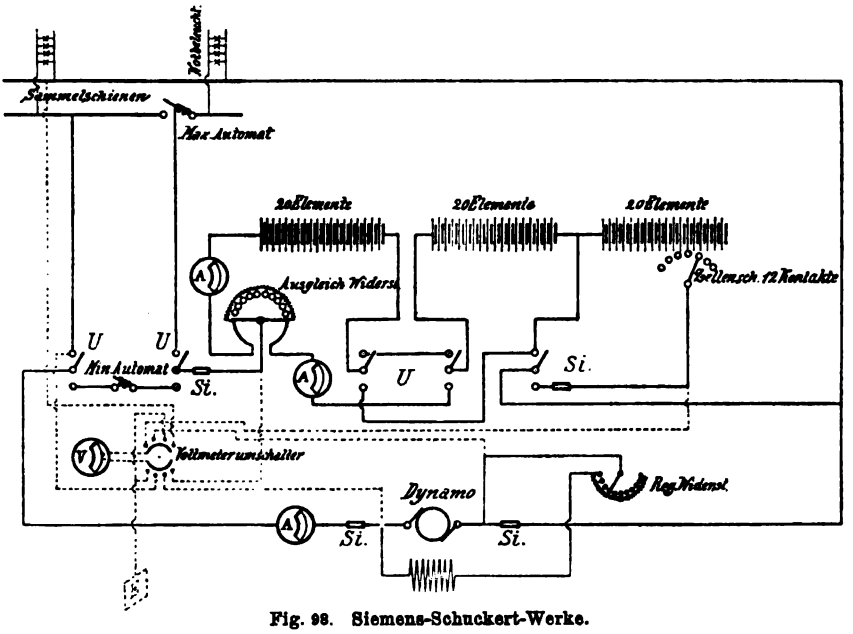


Fig. 98. Siemens-Schuckert-Werke.

Zur Einstellung des Ladebetriebs, des reinen Dynamobetriebs und des gemischten Betriebs mit Dynamo und Batterie sind eine größere Anzahl Umschalter U vorhanden. Die Sicherungen sind mit Si bezeichnet. Die Notbeleuchtung bleibt auch eingeschaltet, wenn der Maximalautomat auslöst. Das Voltmeter V kann vermittels des Voltmeterumschalters auch als Isolationsprüfer benützt werden.

Das Schaltungsschema der Zentrale Kopenhagen, Fig. 99 (E. T. Z. 1903, S. 899), enthält eine Anordnung derart, daß die vorhandenen Dynamomaschinen durch Umschalter sowohl für Bahnbetrieb als auch für Dreileiter-Lichtbetrieb benützt werden können. Im Bahnnetz liegt eine Pufferbatterie, im Lichtnetz eine doppelte Kapazitätsbatterie. Der Mittelleiter kann noch durch einen Regulierwiderstand justiert werden. Außerdem ist ein Ausgleichsaggregat G G vorhanden.

Die Maschinenspannung kann von 400 bis 600 Volt geändert werden,

Digitized by Google

so daß für die Lichtbatterie keine besondere Ladevorrichtung erforderlich ist, während für die Pufferbatterie eine Zusatzdynamo mit Elektromotor, dessen Tourenzahl gesteigert werden kann, vorhanden ist.

Die Abkürzungen der Fig. 99 sind folgende:

A = Ausschalter, Amp = Amperemeter, V = Voltmeter, S = Sicherung, K = Ausschalter für die Erregung, G = Ausgleichsdynamo,

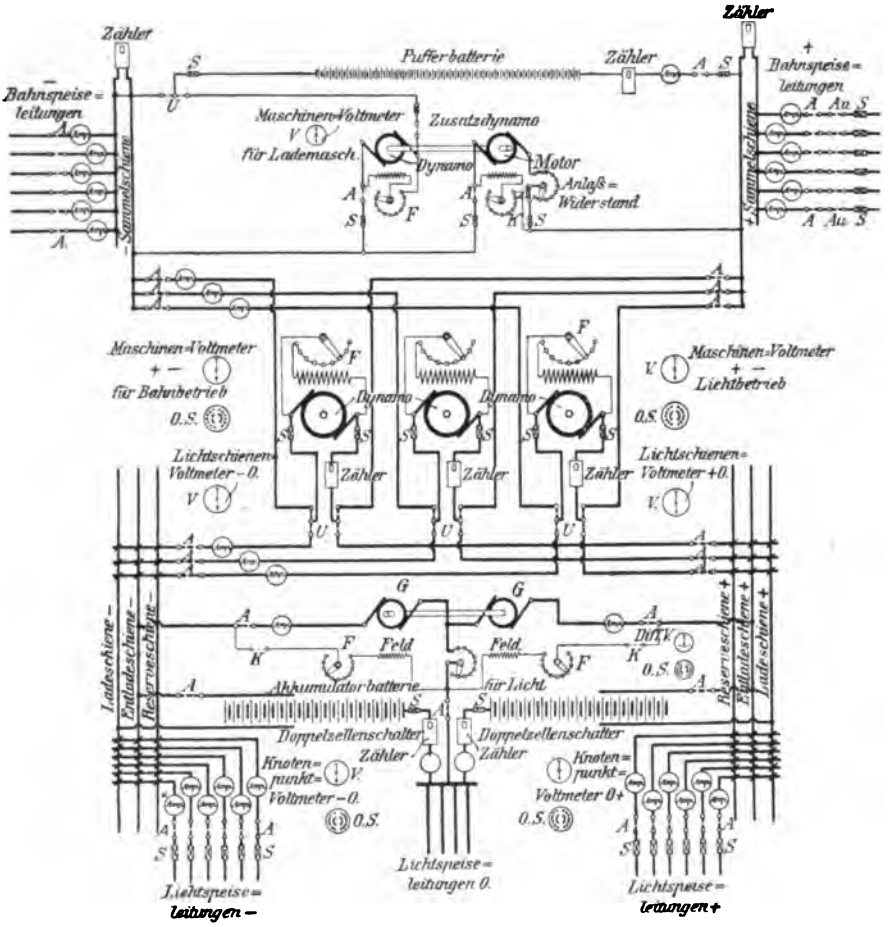


Fig. 99. Zentrale Kopenhagen.

F = Feldregler, Diff.-V = Differential-Voltmeter, OS = Voltmeter-Umschalter, Au = automatischer Ausschalter, U = Umschalter.

Die Zusatzmaschine D_1 zur Ladung einer Dreileiterbatterie wird am besten nach Fig. 100 in den Mittelleiter geschaltet. Die Zusatzdynamo kann man überdies zweckmäßig mit der Ausgleichsdynamo (Fig. 99) auf eine Welle setzen, wobei die letztere während der Ladeperiode als Antriebsmotor dienen kann.

Digitized by Google

Das Schema einer Zentrale für Uebertragung mit konstantem Strom, wie sie von der Compagnie de l'Industrie Electrique Genf ausgeführt wird, verläuft nach Fig. 101 (St.-Maurice, Schweiz). Es werden je zwei Dynamos D_1 und D_2 von einer Turbine betrieben. Der Kurzschließer K, der Nebenschließer B, das Voltmeter V und das Amperemeter A sind in der Säule Fig. 66 vereinigt; die Regulierung

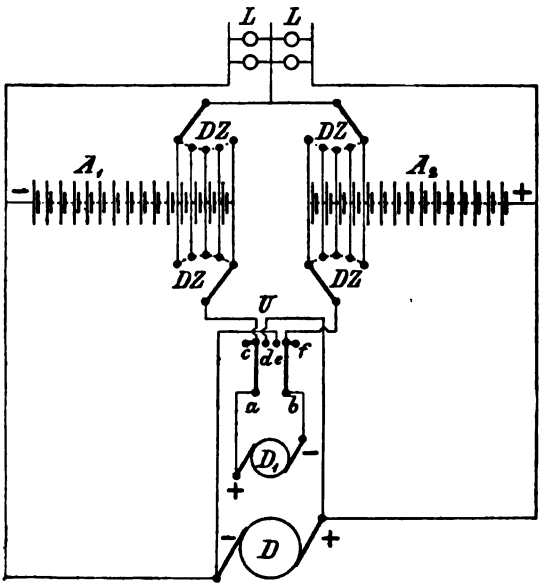


Fig. 100.

erfolgt von einem Nebenschluß S aus durch Aenderung der Geschwindigkeit sämtlicher Turbinen. Eine Motorstation gibt die Fig. 102, worin jedoch nur ein Motor gezeichnet ist, der Stromkreis ist rechts durch weitere Motoren zu schließen. Die Blitzschutzvorrichtung besteht aus einer größeren Anzahl Porzellanröhren B, die mit einem komprimierten Pulver gefüllt sind, ferner sind Schmelzsicherungen S und kurze Funkenstrecken H in die Erdleitung geschaltet. Es werden meist eine Reihe solcher Vorrichtungen parallel geschaltet. Der Umschalter U_m (Fig. 102) besorgt das Einschalten und Kurzschließen der Serienmotoren ohne Stromunterbrechung, F ist eine Funkenaufnahmevorrichtung zum Umschalter U_m; W_n = Nebenschlußwiderstand zur Serienerregung, V_m = Voltmeter, A_m = Ammeter, K_s = Kursschließer. Das Abschalten einer der Seriendynamos geschieht dadurch, daß man zunächst die Tourenzahl vermittels des Turbinenreglers auf Null erniedrigt oder das Feld durch Nebenschließen auf Null reduziert, dann wird die ganze Dynamo kurzgeschlossen. Um einen der Serienmotoren für konstanten Strom anzulassen, was ganz

Digitized by Google

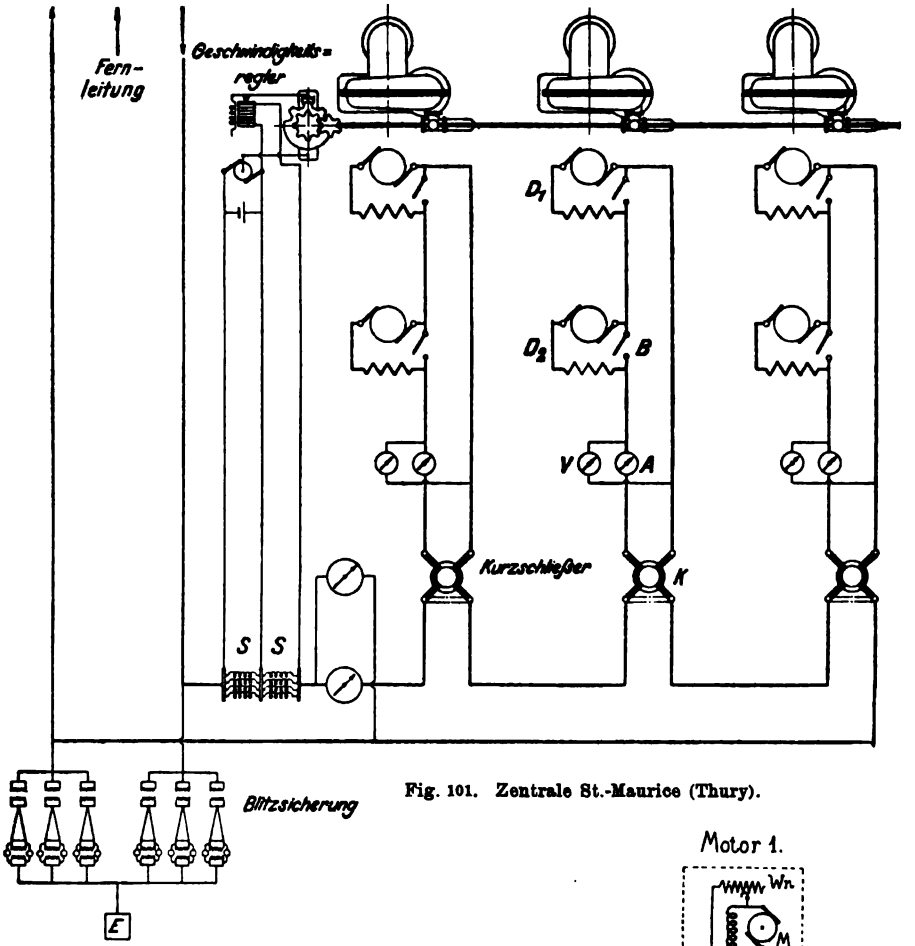


Fig. 101. Zentrale St.-Maurice (Thury).

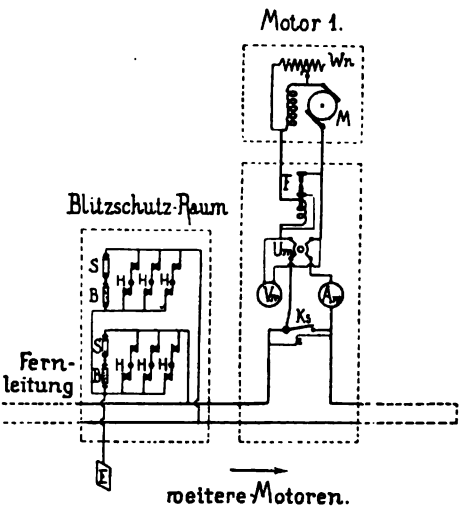


Fig. 102.

ohne Anlaßwiderstände vor sich geht, öffnet man zunächst den Kurzschließer, dabei stehen die Bürsten ziemlich weit aus der neutralen Zone verschoben und das Feld ist stark. Mit wachsender Tourenzahl werden die Bürsten mehr und mehr zurückgeschoben und das Feld wird durch einen Nebenschluß geschwächt. Im normalen Betrieb übernimmt ein Fliehkraftregler die Verstellung des Nebenschlußwiderstandes und der Bürstenbrille entsprechend der Belastung. In einer neueren Kraftübertragung für die

Digitized by Google

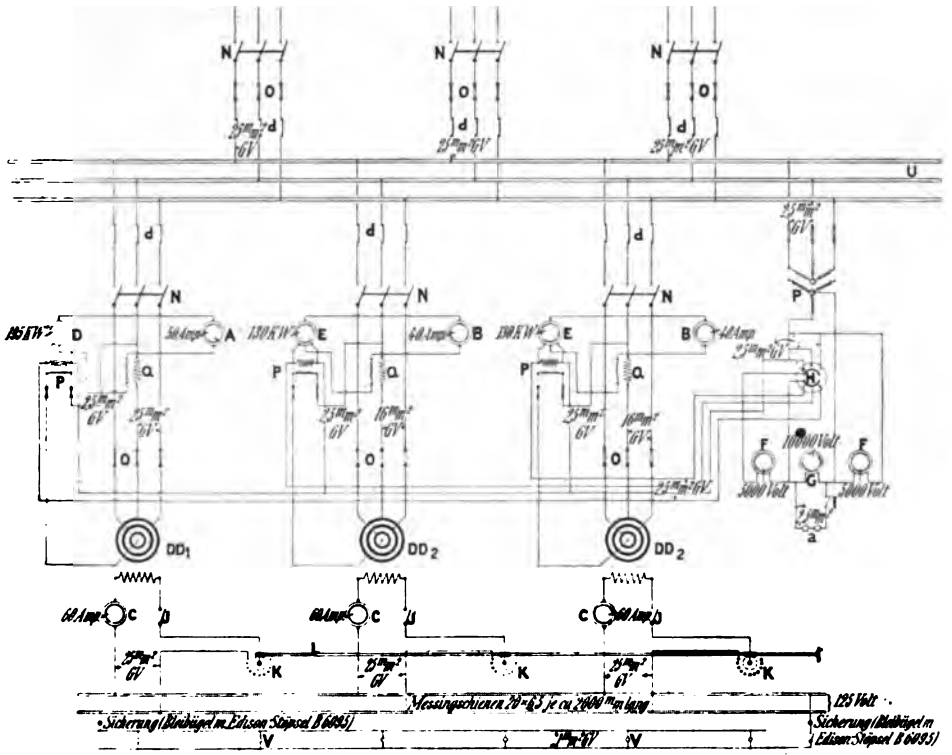


Fig. 103. Vereinigte Elektrizitäts-Gesellschaft Wien.

Stadt Lyon verwendet Thury in der Primärstation acht Maschineneinheiten zu je 7500 Volt 75 Amp. Gleichstrom, so daß sich zur Uebertragung die beträchtliche Gleichstromspannung von gegen 60000 Volt ergibt. In Sekundärstationen findet eine Umformung in Drehstrom von 25000 Volt statt zum Anschluß an ein bestehendes Netz.

Ein übersichtliches Schema einer mittleren Drehstromzentrale für etwa 500 KW, 4000 Volt, ausgeführt von der Vereinigten Elektrizitäts-A.-G. Wien, ist in Fig. 103 gezeichnet (Zentrale Romeno). Die Apparate gibt die folgende Stückliste:

Position	Stück	Gegenstand
A	1	Hitzdraht-Amperemeter — 50 Ampere
B	2	„ „ — 40 „
C	3	Gleichstrom- „ — 60 „
D	1	Wattmeter 195 KW, cos φ = 0,85
E	2	„ 130 KW, cos φ = 0,85
F	2	Hitzdraht-Voltmeter, Skala — 5000 Volt
G	1	Synchronismus-Voltmeter, Skala — 10000 Volt

Digitized by Google

Position	Stück	Gegenstand
H	1	Voltmeterumschalter
I	2	1 polierter Drehschalter
J	3	1 „ Magnetausschalter
K	3	Magnetregulatoren
L	1	Steuerwelle
M	1	Handrad
N	6	Hochspannungsschalter
O	6	Hochspannungssicherungen für 60 Ampere
P	6	Meßtransformatoren Type Ee_3, 2300 : 120 Volt
Q	3	Stromwandler 4000 Volt
U	3	Sammelschienen 26 × 8, je 2700 mm lang, Messing
V	18	Beleuchtungskörper
a	2	Phasenlampen 120 Volt, 16 NK
d	6	Trennschalter
DD_1	1	Generator DD_0 12, 230 KW, 4000 Volt
DD_2	2	„ DD_0 12, 155 KW, 4000 Volt

An die Leitungen sind die Querschnitte angeschrieben. Sämtliche Feldregler werden gemeinsam durch Schneckenantrieb betätigt.

Die in Tafel III skizzierte Zentrale der Tramway Bruxellois, sowie die Unterstation Tafel IV derselben Gesellschaft ist von der Union Berlin unter Verwendung von Apparaten und Instrumenten der Gen. El. Co. ausgeführt. Die Oelschalter Os werden von der Ferne durch kleine Gleichstrommotoren m betätigt und sind für Speiser und Erreger mit Ueberlastrelais p versehen. Zur Erzeugung des Erregereffekts ist sowohl ein Motorgenerator HJK mit automatischem Anlasser H als auch ein Dampferreger L und endlich eine Batterie N vorhanden. Der Anlasser H wird durch einen kleinen Motor ein- und ausgeschaltet, welcher von dem zugehörigen Oelschalter Os und Hilfsmotor m aus betätigt wird.

Die Zeichenerklärung zu Tafel III ist folgende: r = Stromtransformer, Os = Oelschalter mit Motor m, b = Trennschalter, E = Erde, a = Kontrollschalter zum Ein- und Ausschalten des Oelschalters Os, s = rote, t = grüne Signallampe zu Os (s leuchtet auf, wenn Os zu, t, wenn Os offen ist), E_1 = Synchronisierschienen, c = Synchronisierumschalter mit dem Stöpsel d, wenn die betreffende Maschine zugeschaltet wird, mit Stöpsel e, wenn die betreffende Maschine schon in Betrieb ist; p = Ueberlastrelais, g = Amperemeter (Wechselstrom), q = Spannungstransformer, l = Zähler, k = Voltmeter, m = Meßwiderstand, h = Phasenmesser, o = Synchronisierlampen, n = Lincolns Periodenvergleicher (Zeiger läuft mit der Differenz der Periodenzahlen zwischen zuzuschaltender Maschine und Sammelschienen), S = Sammelschienen, Hochspannung, w, v, B = Erregerschienen, u = Gleichstrom-Voltmeter, y = Gl.-Ammeter, x = selbsttätiger Schalter, z = Feldregler, A = Funkenlöschwiderstand, D = Feldregler, C = Funkenlöschwiderstand, P und Q = Erregerschalter, f = Hilfschalter für den Hilfsmotor F am Dampfmaschinenregulator, G = Erdsicherung, R = Nebenschluß.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

In der Unterstation (Tafel IV) ist zum Anlassen der Einankerumformer ein besonderer Motorgenerator 6 aufgestellt, für die Transformatoren 11 sind elektrische Gebläse 12 vorgesehen. Die Oelschalter für die Fernleitung werden durch Stromumkehrrelais (Rückstromrelais 9) betätigt. Für den Hilfskreis zu Schaltzwecken ist eine eigene Batterie für 110 Volt vorhanden, die in 5 Abteilungen in Hintereinanderschaltung mit 550 Volt geladen wird, wozu die Umschaltestöpsel angedeutet sind. Die Bezeichnungen haben folgende Bedeutung:

u = Gl.-Voltmeter, X = selbsttätiger Schalter, R = Nebenschluß zu Y = Ammeter, W = Schalter zum Funkenlöschwiderstand C, S = Sicherung, 15 = Plusschiene, 16 = Minusschiene, 17 = Ausgleichschiene, 1 = Anlaßschalter mit dem Anlaßwiderstand 4 für den Umformer 7, 2 Feldregler zum Umformer 7 und dem Anlaßaggregat 6, 3 = Gleichstromzähler, S = Sammelschienen für 6000 Volt, b = Trennschalter, Os = Oelschalter mit Motor m, E = Erde, r = Stromtransformer, g = Ammeter, p = Ueberlastrelais, a = Schnappschalter zum Betätigen von Os, s und t Signallampen zu Os, q = Spannungstransformer, h = Phasenzeiger[1]), 9 = Rückstromrelais, n = Lincolns Periodenvergleicher, o = Phasenlampen, 13 = Synchronisier-Voltmeter, 14 = Blitzschutz und Sicherung gegen Ueberspannung, 11 = Transformer (sechsphasig), 10 = Drosselspulen, 12 = elektrisch betriebene Ventilatoren zu den Transformern 11, 7 = Einankerumformer (sechsphasig, compoundiert), 8 = Schalter zur Unterteilung der Feldwicklung, 5 = Anlasser zu 6 mit Motorbetrieb betätigt von m aus.

In Anlagen für sehr hohe Spannung, in denen zwischen Generatoren und Fernleitung Transformatoren eingeschaltet sind, wird es immer mehr üblich, daß man in der Schaltung Transformatoren und Generatoren als einheitliches Ganzes behandelt und die Schalter nur in die Hochspannung legt, dagegen Meßinstrumente und wenn nötig Sicherungen in den niedergespannten Generatorkreis (D.R.-P. 151650 von Siemens & Halske). — In dem Schema (Fig. 104[2]) ist eine dreiphasige Wasserkraftstation A auf eine Entfernung von 40 km mit einer Dampfzentrale parallel geschaltet, die aus zwei ganz getrennt angetriebenen Einphasenmaschinen G und H besteht. Das mehrphasige Verhältnis dieser zweiten Station hält sich so lange aufrecht, als die rotierenden Umformer E in Betrieb sind.

Die von der Société Alsacienne in Belfort gebaute Anlage (Fig. 105) zur Speisung einer Gleichstrombahn enthält in der Zentrale 25periodige Doppelstromgeneratoren, die auf der Gleichstromseite direkt ins Bahnnetz mit 650 Volt arbeiten, auf der anderen Seite mit 400 Volt auf Drehstromtransformatoren für 10000 Volt, von wo aus Unterstationen mit rotierenden Umformern gespeist werden. — Die Unterstationen amerikanischer Bahnanlagen sind in der Hochspannungsseite häufig so angeordnet, daß die entfernter liegenden Unterstationen von den Sammel-

[1]) Leistungsfaktorzeiger.

[2]) Mailloux, Single phase alternators (Trans. Am. Inst. El. Eng. 1902).

Digitized by Google

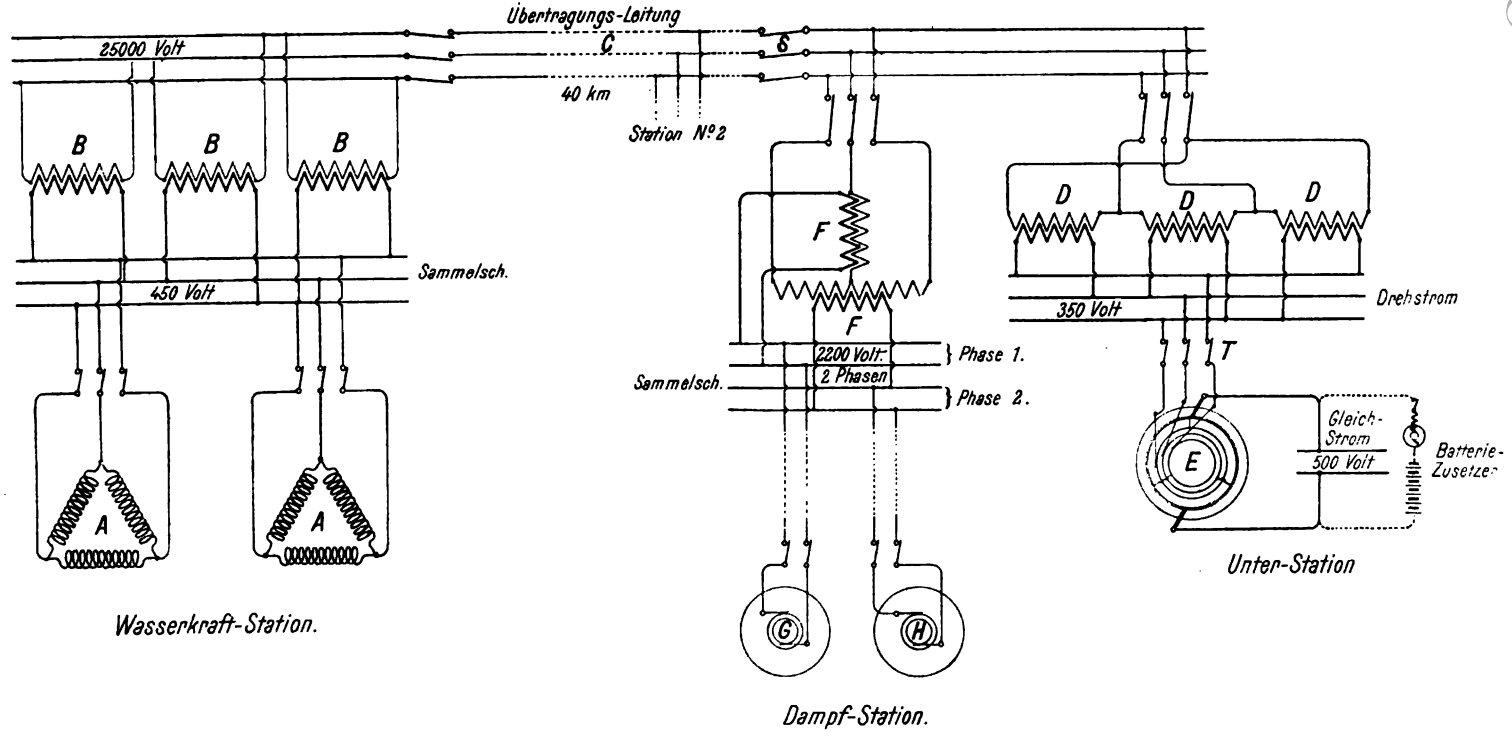
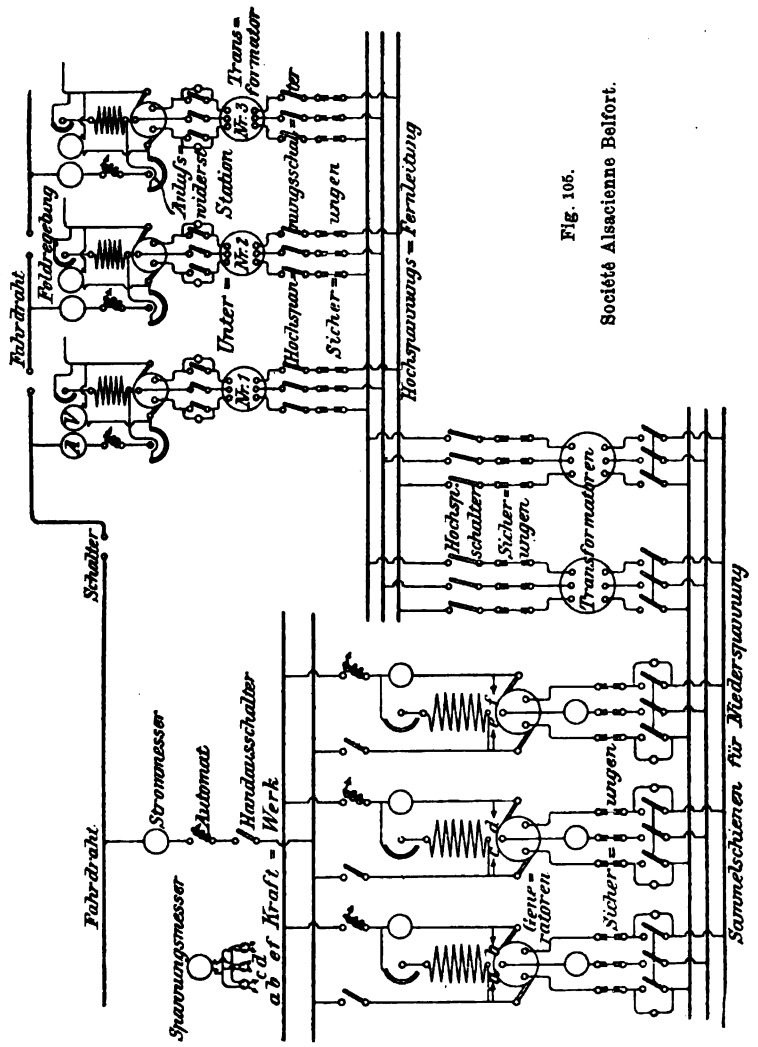


Fig. 104.

Digitized by Google

schienen der näher gelegenen Unterstationen gespeist werden, d. h. bei drei Unterstationen A, B, C durchläuft der Strom für C erst die Sammelschienen von B und C. Es ist damit möglich, in der Unterstation A



erforderlichenfalls den übrigen Unterstationen B und C den Strom zu entziehen, siehe z. B. Fig. 108.

Eine Unterstation, wie man sie nur in Amerika zu finden pflegt, dient nach Fig. 106 [1]) zur Umwandlung von Drehstrom von 6600 Volt und 25 Perioden einmal in Strom von konstanter Stromstärke (links)

[1]) El. World 1903, 5. September.

Digitized by Google

durch eine Brushmaschine A mit 2×4 Stromkreisen, sowie in Zweiphasenstrom B mit 60 Perioden und 2300 Volt für Glühlicht und Motoren. In dem Schema bedeutet E Erde, A Amperemeter, V Voltmeter, W Wattmeter, RW Zähler, F Feldschalter, S Synchronisierstöpsel.

Das Schema (Fig. 107) der von der Oesterreichischen Union gebauten Bergbahn Triest-Opcima enthält auch die elektrischen Ausrüstungsteile der Lokomotive und eines Motorwagens. Von besonderem Interesse ist der Kompensationswiderstand Co, der dazu dient, eine

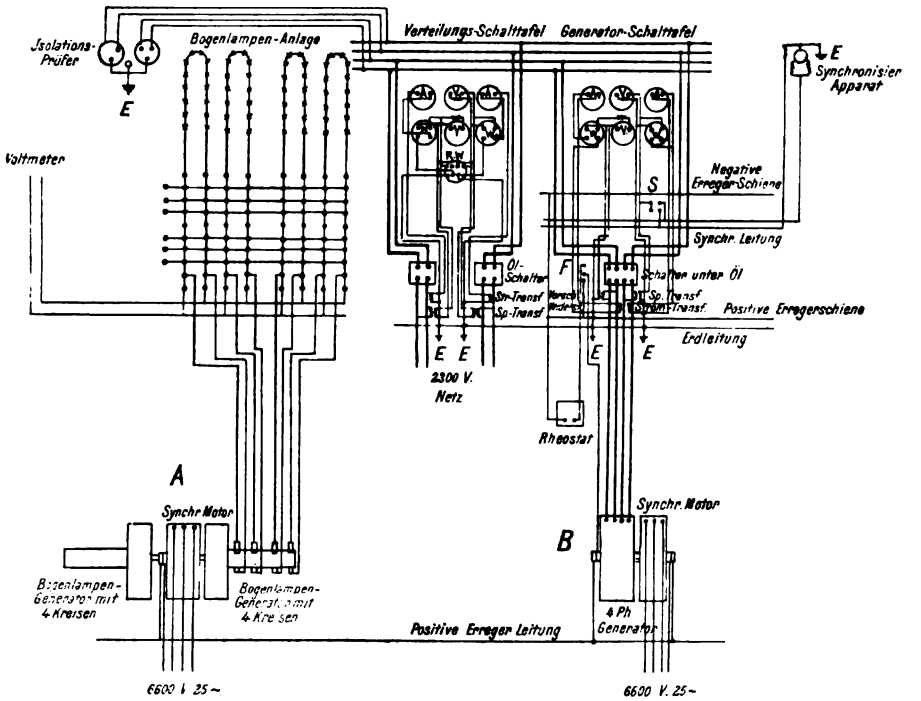


Fig. 106.

gleichmäßige Stromaufnahme der beiden Lokomotivmotoren mit Nebenschlußwicklung herbeizuführen. Die Bezeichnungen in Fig. 107 sind die folgenden:

a = Momentausschalter, Bl = Blitzableiter, BS = Bremssolenoid[1]), C = Fahrschalter, Co = Kompensationswiderstand[2]), BS = Hochspannungssicherung[3]), S = Induktionsspule, LS = Lichtausschalter, M_1 und M_2 Nebenschlußmotor, Ma = Maximalautomat, Mi = Minimalautomat, N = Nebenschlußwiderstand, öa = Oelausschalter, s = Sicherung, U_1 und U_2 = Hauptstrommotor.

[1]) An der Lokomotive.
[2]) Rechts; Co links ist der Anlaßwiderstand.
[3]) Vor dem Umformer.

Digitized by Google

Für den Betrieb von Einphasenbahnen mit Kommutatormotoren hat die Gen. El. Co. das Normalschema (Fig. 108) festgelegt. Der Strom wird zunächst (links) einem Dreiphasennetz von 25 Perioden und 20000 bis 60000 Volt entnommen, in Unterstationen mit Oeltransformatoren wird die Spannung auf 2200 oder 5500 Volt reduziert und durch geeignete Schaltung oder Transformatoren Zweiphasenstrom erzeugt. Jede Phase speist abwechselnd die einzelnen Abschnitte des Fahrdrahtes. Die Zuleitung der Hochspannung erfolgt derart, daß in jeder Unterstation die Stromzufuhr für alle nachfolgenden Unterstationen abgeschnitten werden kann.

Als Beispiel für ein Schema einer Motoranlage ist die Fig. 109 gegeben, welche zur Schaltung eines elektrischen Spills dient. F ist ein mit dem Fuß zu betätigender Umschalter, welcher den Stromkreis der Elektromagnete D und B schließt. D ist der Hauptschalter und B dreht den Schalthebel des Anlassers E allmählich in die Kurzschlußstellung. L und C sind Vorschaltlampen zur Verminderung des Stromes in den Spulen D und B. Sie werden eingeschaltet, wenn der betreffende Magnet seine

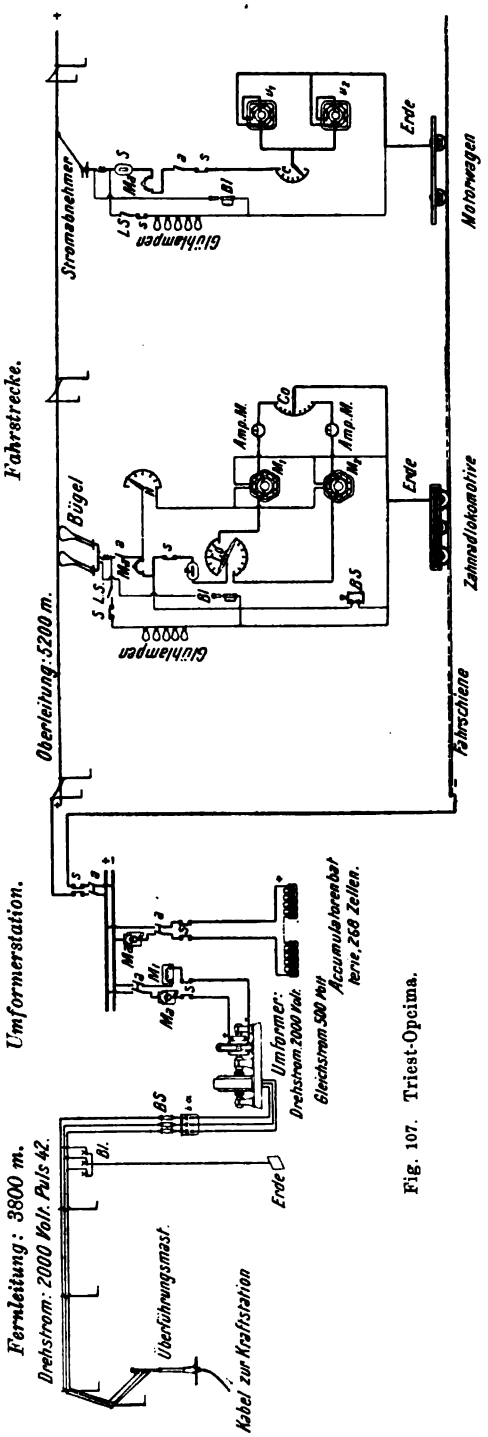


Fig. 107. Triest-Opcina.

Digitized by Google

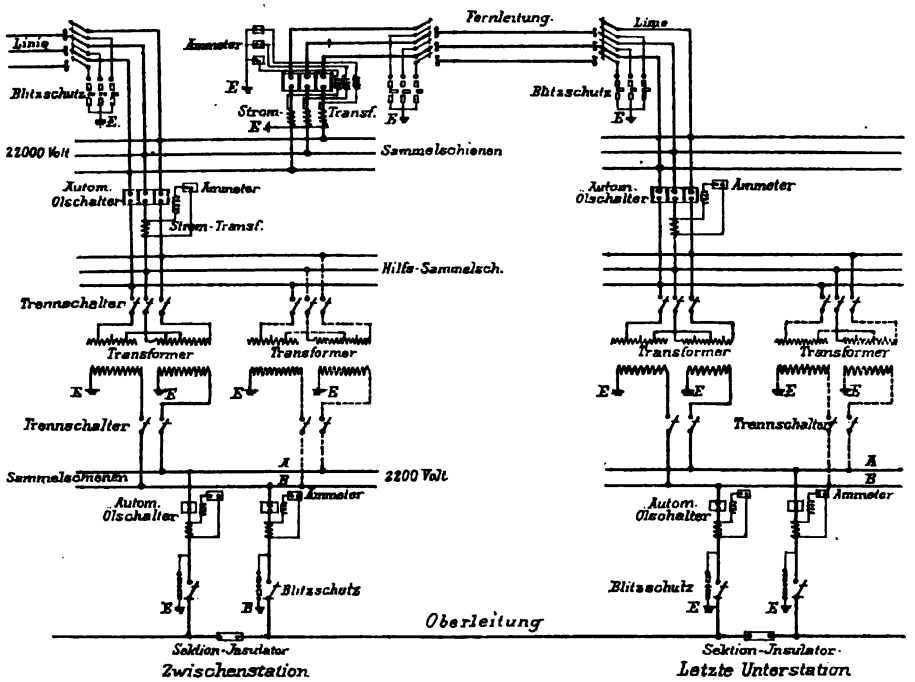


Fig. 108.

Hubarbeit begonnen hat. Der Punkt X ist mit der Minusleitung des Netzes verbunden. K ist ein Ueberlastausschalter, der durch den Haken O in offener Stellung festgehalten wird, bis bei Betätigung des Schalters F die Stange P den Schalter frei gibt. N ist die Neben-

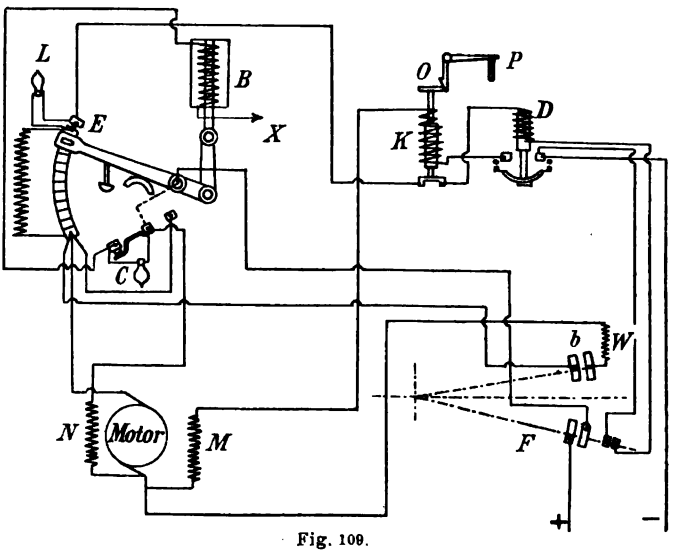


Fig. 109.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

schlußfeldwicklung, M die Hauptstromfeldwicklung. Beim Abschalten geht der Fußschalter in die Stellung b, wobei der Anker des Motors auf den Bremswiderstand W geschlossen wird. Eine andere Motoranlage ist bereits in Fig. 68 skizziert.

Ein besonders ausführliches Schema ist in Tafel V wiedergegeben; es stellt eine von Helios ausgeführte Umformerstation (Rethelstraße) des Düsseldorfer Elektrizitätswerks dar, worin der hochgespannte Drehstrom (5000 bis 6000 Volt) vermittels Motorgeneratoren in Gleichstrom von etwa 2×120 Volt umgeformt wird. Auf der Achse eines Synchronmotors sitzen zwei Gleichstromdynamos, während ein Asynchronmotor eine beliebig in beide Zweige zu schaltende Gleichstrommaschine betreibt. Die mit Nummern versehenen Apparate und Instrumente haben folgende Bedeutung:

Position	Stück	Gegenstand
1	1	Ferraris-Stromzeiger 0—30 A
2	1	Ferraris-Leistungszeiger 0—240 KW
3	1	Ferraris-Zähler
4	1	Ferraris-Stromzeiger 0—60 A
5	1	Ferraris-Leistungszeiger — 150 . 0 . + 480 KW
6	1	Ferraris-Zähler
7	1	Präzisionsstromzeiger 0—25 A
8	1	Ferraris-Spannungszeiger 0—6000 V
9	1	Ferraris-Spannungszeiger 0—6000 V
10	1	Synchronismus-Ferraris-Spannungszeiger 0—240 V
11	1	Isolationsmesser
12	3	Präzisionsstromzeiger — 600 . 0 . + 850 A
13	6	Präzisionsspannungszeiger 0—400 V
14	3	Wattstundenzähler
15	2	Präzisionsstromzeiger 2000—0—2000 A und 400—0—400 A
16	2	Präzisionsspannungszeiger 80—200 V
17	2	Präzisionsstromzeiger 0—1400 A
18	4	„ 0—600 A
19	2	„ 0—500 A
20	2	„ 0—100 A
21	6	Präzisionsspannungszeiger 90—140 V
22	2	Wattstundenzähler 800 A
23	4	„ 400 A
24	6	einpolige Sicherungen 160 A
25	2	Maximalölautomaten 160 A
26	3	Trennmesser 160 A
27	3	einpolige Sicherungen 20 A
28	1	Drehstromanlasser
29	1	Maximalölautomat

Digitized by Google

Position	Stück	Gegenstand
30	2	einpolige Transformatorensicherungen
31	3	einpolige Sicherungen 40 A
32	1	Maximalölautomat 40 A
33	2	einpolige Transformatorensicherungen
34	2	Phasenlampen
35	2	einpolige Transformatorensicherungen
36	3	einpolige Drehschalter
37	1	Hauptstromregulierwiderstand
38	2	Erdungsschalter
39	3	Maximalautomaten 600 A
40	3	Minimalautomaten 600 A
41	6	einpolige Sicherungen 600 A
42	3	zweipolige Umschalter
43	3	Nebenschlußregulatoren
44	1	Hauptstromanlasser
45	2	einpolige Ausschalter 2000 A
46	2	„ „ 1000 A
47	2	„ Umschalter 2000 A
48	2	„ Sicherungen 1000 A
49	2	„ Umschalter 1000 A
50	1	einpoliger Ausschalter 1000 A
51	2	Signalapparate
52	2	kleine Regulierwiderstände
53	2	Voltmeterumschalter, 12 Kontakte
54	4	„ 8 Kontakte
55	1	„ 2 × 4 Kontakte
56	2	Zellenschalter
57	24	einpolige Sicherungen
58	2	Generalumschalter
59	8	Sicherungen 500 A
60	8	„ 300 A
61	8	„ 200 A
62	1	Flüssigkeitswiderstand
63	3	einpolige Ueberspannungssicherungen
64	1	einpoliger Umschalter
65	1	„ Erdschalter für das Hochspannungsgerüst
66	6	einpolige Erdmesser
68	4	Zeitrelais
69	4	Signallampen
70	4	Druckknöpfe } zu den Maximalautomaten
71	8	Maximalrelais
72	4	Umschalter
15a	2	Umschalter zu 15
15b	4	Shunts zu 15
20a	2	Umschalter 2 × 15 Kontakte, zu 20
20b	2	„ 2 × 2 „ zu 20

Digitized by Google

Position	Stück	Gegenstand
20c	8	Shunts 500 A, zu 20
20d	8	„ 300 A, zu 20
20e	8	„ 200 A, zu 20
73	4	Kurzschlußvorrichtungen
74	2	„

Die Anordnung der Hochspannungs-Sammelschienen, -Schalter und Sicherungen dieser Umformeranlage ist aus der Schnittzeichnung Fig. 109a zu entnehmen: Zu den selbsttätigen Oelschaltern 25 gehört

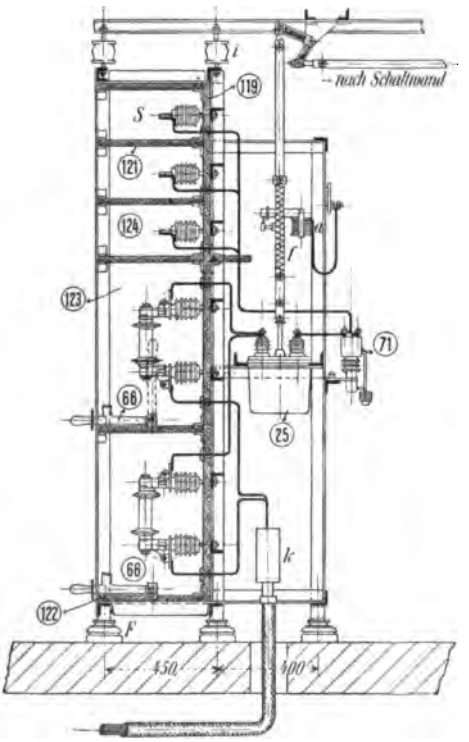


Fig. 109a. Helios E.-A.-G.

der Stromtransformer 71 und das Ausklinkrelais a sowie die Schnappfeder f. Die Sammelschienen S sind in einzelnen Zellen verlegt, die Sicherungen ebenso, 66 sind wohl Erdungschalter. Das Gestänge der Schalter ist offenbar auf Isolatoren i montiert, ebenso das ganze Gestell auf isolierten Füßen F.

Das Schema Fig. 109b der Helios E.-A.-G. bietet eine Reihe beachtenswerter Einzelheiten. Zunächst seien die Bezeichnungen erklärt:

Digitized by Google

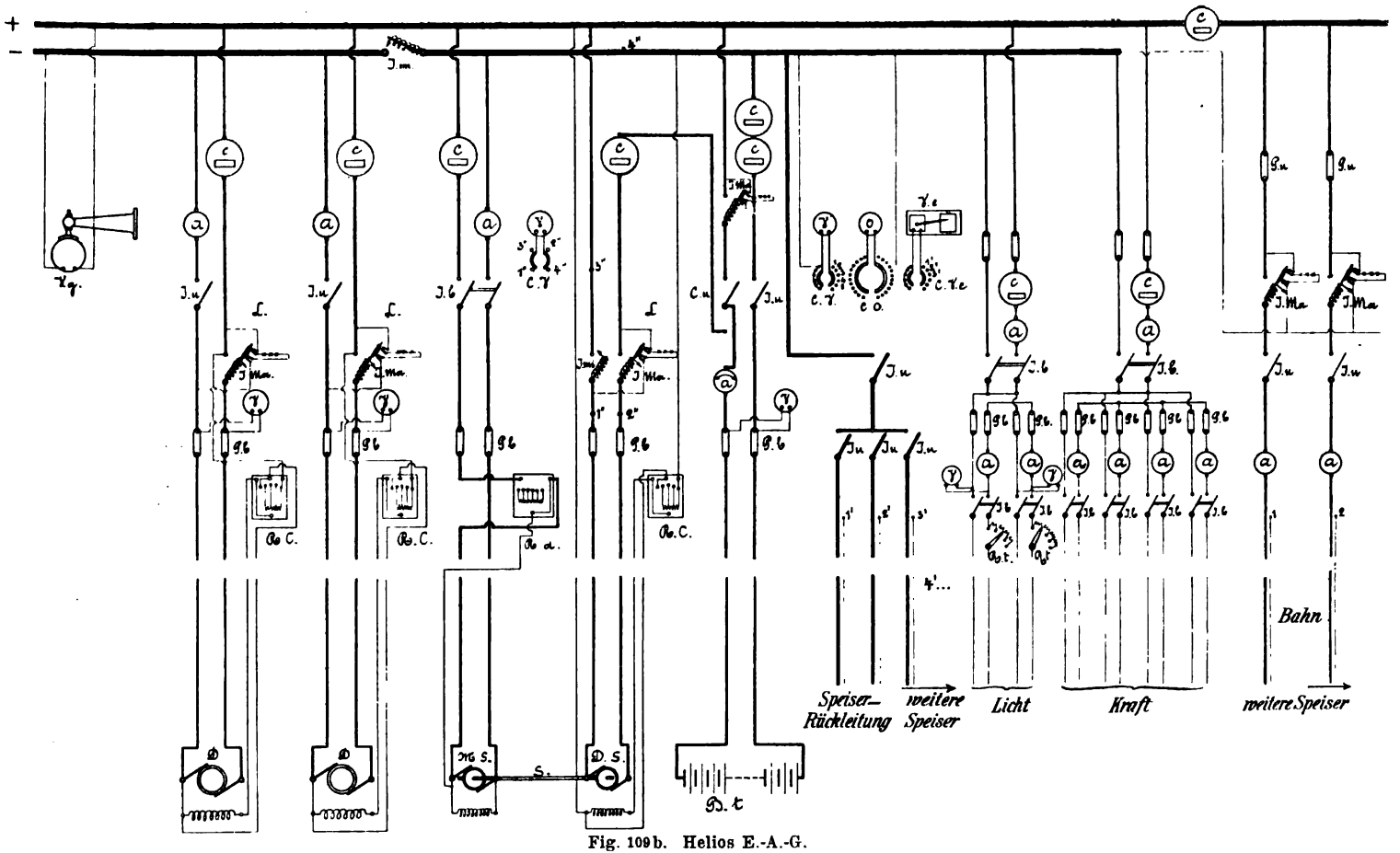


Fig. 109b. Helios E.-A.-G.

Digitized by Google

A = Amperemeter
Bt = Pufferbatterie
C = Zähler
D = Dynamo
DS = „ der Zusatzmaschine
JC = Zweipoliger Ausschalter
JMa = Maximalausschalter
JMi = Minimalausschalter
Ju = einpoliger Ausschalter
L = Prüflampen
Pb = Zweipoliger Schmelzstreifen
Pu = Einpoliger „
RC = Feldregler
Rd = Anlasser
Rt = Spannungswiderstand (Feederwiderstand)
S = Zusatzmaschine
V = Voltmeter
Vg = „ „ drehbares Generalinstrument
Ve = Voltmeter, registrierendes Generalinstrument
CV = Voltmeterumschalter
CVe = „ für den registrierenden Apparat
O = Ohmmeter (Erdschlußprüfer)
CO = Ohmmeterumschalter
MS = Motor der Zusatzmaschine

Jede Dynamo, beide Teile des Zusatzaggregats, die Batterie, die Speiser für Licht und Kraft, sowie alle Bahnspeiser zusammen haben einen Zähler C. Die Bahnspeiser haben Prüfdrähte 1, 2 . . ., 1^1, 2^1, 3^1 . . ., die auch auf ein registrierendes Voltmeter geschaltet werden können, um gewisse Strecken dauernd zu kontrollieren. Vor den gesamten Maschinen liegt ein Minimalschalter. Beim Auslösen der Maximalautomaten werden Signallampen L zum Aufleuchten gebracht.

5. Entwurf der Schalttafel[1]).

An Hand des Schaltungsschemas wird die eigentliche Schalttafelzeichnung samt allen Leitungen entworfen, in Vorder- und Rückansicht sowie meist in mehreren Querschnitten. Zur praktischen Gruppierung der Instrumente und Apparate kann man sich Bilder derselben ausschneiden und sie so lange auf der Schalttafel verschieben, bis sie am übersichtlichsten und zweckentsprechendsten liegen. Man fertigt sich wohl auch von allen normalen Apparaten Gummistempel an und macht sich eine Sammlung von Normalfeldern, aus denen man rasch eine beliebige Schalttafel zusammenstellen kann. Diese Normalisierung ist besonders in Amerika entsprechend Fig. 1 u. ff. durchgeführt, sie ist mindestens so ratsam wie bei Maschinen. Handgriffe müssen in bequem erreichbarer Höhe liegen, Anschlußklemmen und Schrauben leicht zugänglich und Meßinstrumente bequem ablesbar sein. Zur Beleuchtung dieser letzten benützt man Glühlampen an Wandarmen mit Blendschirm, obwohl eine gute allgemeine Beleuchtung vorzuziehen ist. Sicherungen, sofern solche überhaupt zur Anwendung kommen, sind ebenso wie offene Schalter bei größeren Leistungen hinter der Schalttafel abseits von den übrigen Apparaten und mit Zwischenwänden so zu montieren, daß

[1]) Siehe auch Niethammer, Elektrotechnische Fabriken, S. 272.

Digitized by Google

Feuererscheinungen sich nicht anderweitig fortpflanzen können. Sicherungen müssen aber auch ohne Gefahr rasch auswechselbar sein. In der Regel werden Schalter für über 1000 Ampere auch bei Niederspannung hinter die Schalttafel gelegt, ebenso Sicherungen für über 300 Ampere. Vorn liegende Sicherungen sind ganz oben auf die Schaltwand zu bringen. Für Oelschalter ist genügend Platz zum Abnehmen des Oeltopfes vorzusehen. Reservefelder und Reserveapparate zeichnet man eventuell punktiert ein. Die Bezeichnung aller Apparate und ihre Zugehörigkeit zu den numerierten Generatoren und Speisern ist durch Emailschilder anzugeben.

Vor allem ist bei der Gesamtordnung und bei Auswahl der Apparate auf Betriebssicherheit und Sicherheit des menschlichen Lebens zu halten, was nur möglich ist, wenn man über reichlichen Platz verfügt. Die am weitesten vorstehenden Apparate auf der Rückwand müssen mindestens 1 m[1]), besser 1,2 bis 1,5 m von der Gebäudewand abstehen, an der aber dann keine Apparate liegen dürfen. Sind auch an der Rückwand Apparate angebracht, so soll der gesamte lichte Raum zwischen beiden Wänden mindestens 2 m betragen. Der Bedienungsgang wird 80 cm breit und 1,8 m hoch gemacht. Wandschalttafeln (Fig. 60) müssen mindestens 30 cm von der Wand abstehen. Auf der Vorderseite der Schalttafeln sind stromführende Teile zu vermeiden.

Holz oder andere brennbare Materialien sind in offener Ausführung, z. B. auch zu Verzierungszwecken, zu vermeiden. Unter Oel und in feuersicherem Abschluß ist jedoch nichts gegen Holz einzuwenden. Hochspannungsanlagen sind entweder durchweg mit isolierten Gängen zu versehen (Fig. 48) oder aber es sind alle der Berührung ausgesetzten Teile mit zuverlässiger Erdleitung zu erden. Sofern offene blanke Leitungen verwendet werden, hat man Hochspannungsräume durch Schutzgeländer oder Wände aus perforiertem Blech abzuschließen, was jedoch nicht notwendig wird, sobald alle Apparate durch leicht abnehmbare, geerdete Gehäuse abgedeckt sind und alle zugänglichen Leitungen sorgfältig isoliert sind. In Anlagen, in denen sowohl Hochspannung wie Niederspannung erzeugt wird, sind die Schalttafeln für beide Spannungen räumlich vollständig voneinander zu trennen. Die Beleuchtung der Apparatenanlage sollte möglichst von einer besonderen Stromquelle ausgehen, sie sollte allerdings auch auf das allgemeine Netz umschaltbar sein.

Für neuere Hochspannungsanlagen[2]) charakteristisch sind folgende Punkte:

[1]) Die Verzierungen sollte man als zwecklos weglassen; neuerdings findet man öfters sehr beachtenswerte Umrahmungen aus Schmiedeisen, z. B. von A. M. Krause, Berlin NW., Jagowstraße.

[2]) Am. Inst. El. Eng., 24. April 1903, Torchio.

Digitized by Google

1. Die Hochspannungskreise mit sämtlichem Zubehör sind entfernt von der Bedienungstafel für sich feuersicher untergebracht.

2. Die Sicherungen werden, abgesehen von Speisern für Lichtanlagen sowie von Niederspannungsstromkreisen mit geringer Energie, vermieden.

3. Die Erregermaschinen, welchen stets eine Akkumulatorenbatterie parallel zugeschaltet ist, erhalten entweder gar keine selbsttätigen Unterbrecher oder höchstens Rückstromrelais.

4. Die Schalter für Motorgeneratoren zur Erzeugung der Erregung erhalten Ueberlastrelais mit Zeitelement.

5. Vollständige Trennung der mechanisch gut geschützten Maschinenhaus- und Schalttafelleitungen für die verschiedenen Generatoren, ebenso scharfe Trennung der einzelnen Phasen durch Isolationswände, Kanäle oder Mauerwerk, wodurch aber die Zugänglichkeit nicht unnötig erschwert werden darf. Schutz der Leitungen gegen Kapazitätsentladungen durch Vorrichtungen zum Ausgleich von Ueberspannungen. Als Isolation ist nur Porzellan empfehlenswert.

6. Verwendung zweier Oelschalter in Serie zwischen jedem Generator und den Sammelschienen, ebenso in den Anschlüssen zu den Speisern; ein Oelschalter kann auch durch Messerschalter ersetzt werden.

7. Vielfache Unterteilung der Sammelschienen (Ringleitung) oder Verwendung mehrerer Sammelschienensysteme mit Gruppenumschaltern für Generatoren und Speiser. Die einzelnen Sammelschienensysteme sind durch Trennschalter zu verbinden.

8. Ueber 500 Volt sind alle Meßinstrumente mit Strom- und Spannungstransformern zu versehen.

9. Stromumkehr- und eventuell auch Ueberlastrelais mit Zeitelementen an den Generatorschaltern; diese Relais sollten jedoch nur farbige Signallampen betätigen.

10. Die Speiser erhalten in der Generatorstation Ueberlastrelais mit einstellbarem Zeitelement.

11. Es ist nur allpolig auszuschalten und zu sichern [1]) (bei selbsttätigen Schaltern).

12. In die Wechselstromspeiser von Unterstationen mit Einankerumformern sind Ueberlastrelais mit Zeitelement, und wenn mehrere Umformer auf der Wechselstromseite parallel geschaltet sind, auch Stromumkehrrelais mit Zeitelement einzulegen [2]). Das Parallelarbeiten der

[1]) Sofern Schmelzsicherungen zur Anwendung kommen, sind geerdete Mittelleiter nicht zu sichern.

[2]) Der erste Schalter soll in der Zentralstation, der zweite in der Unterstation liegen.

Digitized by Google

Umformer auf der Wechselstromseite sollte möglichst vermieden werden, d. h. sie sollten von unabhängigen Generatorgruppen gespeist werden.

13. Das direkte Einschalten von toten Transformatoren mittels Hochspannungsschalter ist zu vermeiden.

14. Einankerumformer sind gegen das Durchgehen durch eine Vorrichtung zu schützen, welche die Gleichstrom- und Wechselstromschalter öffnet, auch auf der Gleichstromseite ist ein Stromumkehr- und ein Maximalrelais mit Zeitelement erforderlich.

15. Die verschiedenen Schalter mit Zeitelement müssen so eingestellt sein, daß nur gerade der Netzteil unterbrochen wird, in dem ein Fehler auftritt, d. h. je näher — elektrisch gesprochen — der Schalter der Zentrale liegt, desto später muß er funktionieren, desto länger muß er einen gegebenen Stromstoß ertragen.

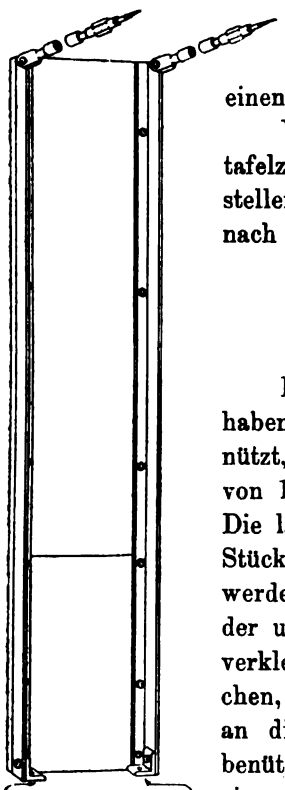


Fig. 110.

Von größter Wichtigkeit ist es, zu jeder Schalttafelzeichnung eine vollständige Stückliste aufzustellen, die sämtliches Material und alle Apparate nach ihrer Zugehörigkeit gruppiert enthält.

6. Schalttafelgerüste.

Die zur Verwendung kommenden Marmortafeln[1]) haben, sofern man das Einzelfeldsystem Fig. 1 ff. benützt, eine Breite von 400 bis 850 mm und eine Höhe von 1,2 bis 2,3 m und eine Dicke von 25 bis 50 mm. Die langen Tafeln setzt man in der Regel aus zwei Stücken zusammen (Fig. 110). Auch die kurzen Tafeln werden an 2 m langen Winkeleisen befestigt, wobei der untere Teil frei bleibt oder mit perforiertem Blech verkleidet wird. Apparate, die wenig Wartung brauchen, oder Instrumente mit deutlicher Skala setzt man an die höchste Stelle. Zum Aufbau des Gerüstes benützt man nur Eisenkonstruktionen, d. h. Winkeleisen von 50 × 50 × 5 mm, von 80 × 50 × 8, von 60 × 40 × 5, dann U-Eisen und zwar 60 × 30 × 6 u. a. Die verwendeten Schrauben, die zweckmäßig aus Messing bestehen, sind $^5/_{16}$ bis $^3/_4$ Zoll stark. Die Ausbildung eines Fußes für ein einfaches Winkeleisengerüst zeigt Fig. 110. Zur Verbindung der verschiedenen Winkeleisen an den Ecken kann man Flacheisen auf-

[1]) In Amerika verwendet man vielfach blau oder rot gestreiften Vermont-Marmor.

Digitized by Google

schrauben oder aufnieten (siehe Fig. 110a), einem Schaltgerüste von Erla'cher mit Vorsprung zum Einbau der Regulatoren. Die Maße der Profileisen sind eingeschrieben. Ein weiteres Schaltgerüst für eine Generatoranlage der Elektrizitäts-A.-G. Helios ist in Fig. 111 entworfen; dasselbe ruht auf Hartgummi- und Filzunterlagen. Zum

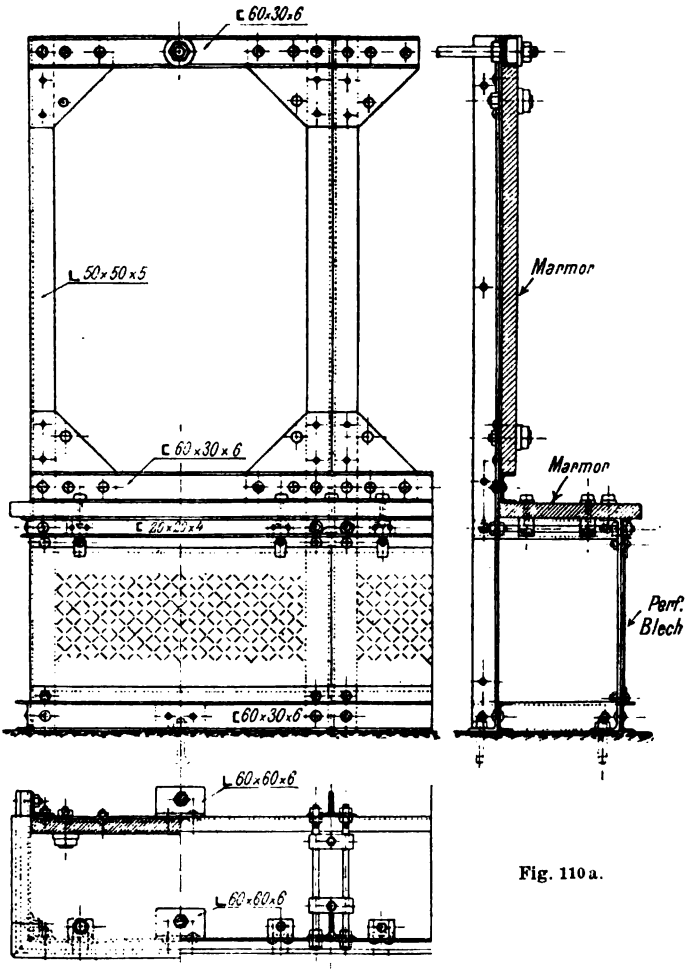


Fig. 110a.

Befestigen der Sicherungen und Regulatoren baut man an das Hauptgerüst eine ausladende Flacheisenkonstruktion (Fig. 12) an. Neuerdings setzt man nicht selten das Gerüst aus Röhren zusammen (Fig. 112 von Siemens & Halske, siehe auch Fig. 3 bis 5 der Gen. El. Co.). Die schmiedeeisernen Rohre Fig. 112 stehen auf gußeisernen Füßen, die mit Steinschrauben im Boden festliegen. Auf der Rückseite der Rohr-

Digitized by Google

schalttafel ist zur Befestigung von Sammelschienen und anderem ein Traggerüst (Fig. 112 links) ausgebildet.

Die Kanten der Marmortafeln bezw. der Schiefertafeln (bis 2000 Volt) werden auf der Vorderseite ringsum etwas gebrochen. Man schraube die Platten nur unter Zwischenlegung elastischer Unterlagscheiben, z. B. 2 mm starker Asbestpappescheiben, auf dem Gerüste fest. Gummiunter-

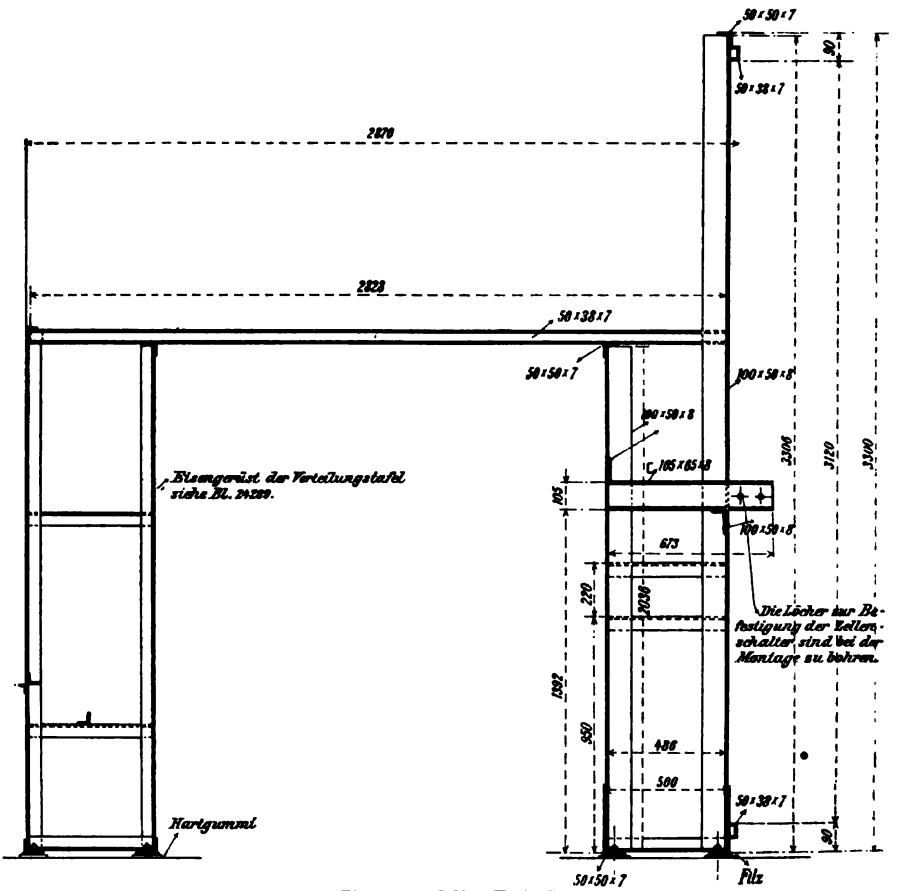


Fig. 111. Helios E.-A.-G.

lagen empfehlen sich nicht. In Fig. 113 ist nach E. T.-Z. 1900 S. 994 (Grauert) die Schalttafel mit Zwischenlagen aus Filz auf die L-Eisenumrahmung elastisch gebettet. Die Schalttafel bildet entweder ein vollständig in sich abgeschlossenes Eisengerüst (Fig. 111), das durch Schrauben im Boden befestigt ist, oder aber sie wird gegen die Wand mit Hilfe von Profileisen (Fig. 32) oder verstellbaren Zugstangen (Fig. 12) oder Gasrohren abgestützt. In Fig. 114 ist noch ein fahrbares Schaltgerüst nach D. R.-P. 155699 dargestellt; nach dem Ausfahren fällt ein Rollladen automatisch über die Kontakte.

Digitized by Google

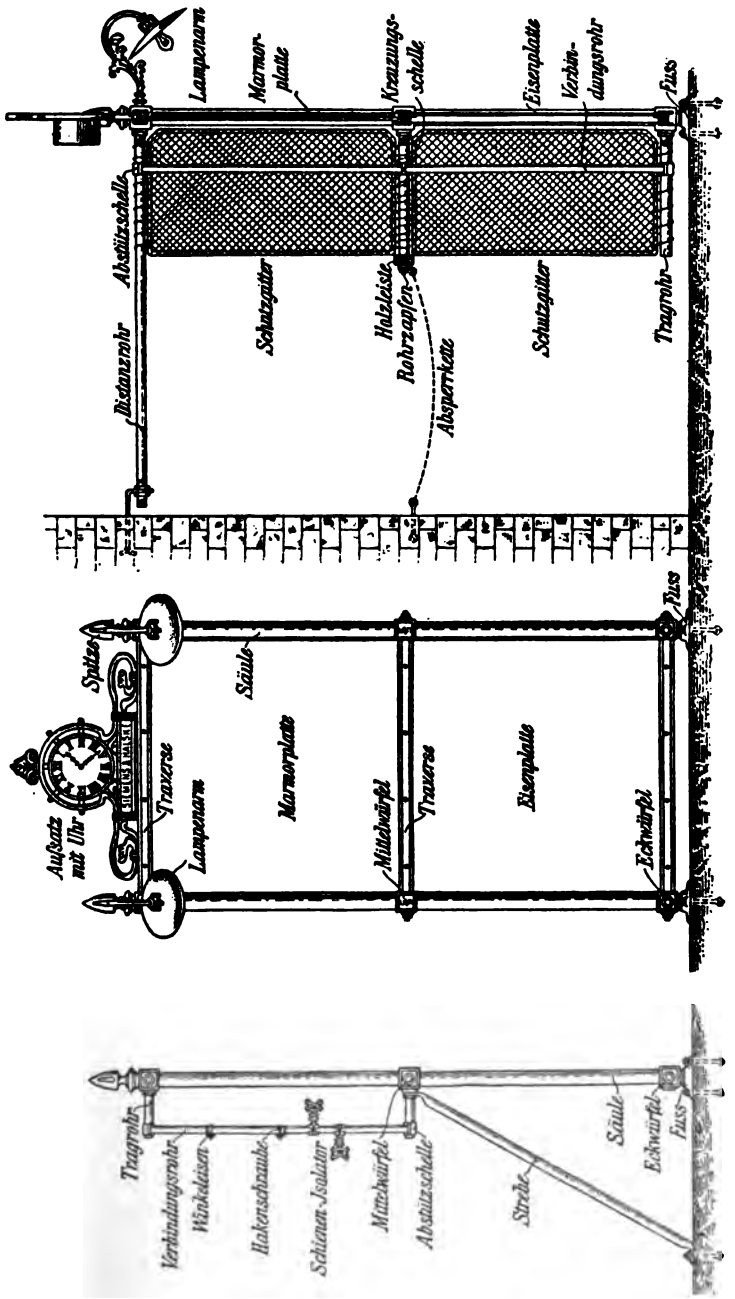


Fig. 113.

Digitized by Google

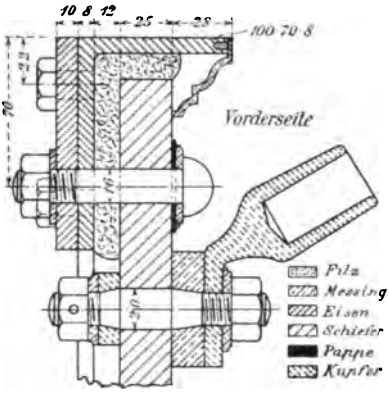


Fig. 113

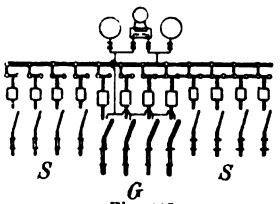


Fig. 115a.

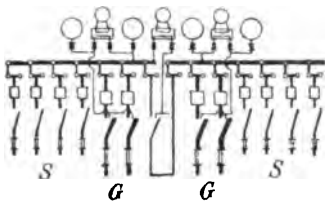


Fig. 115b.

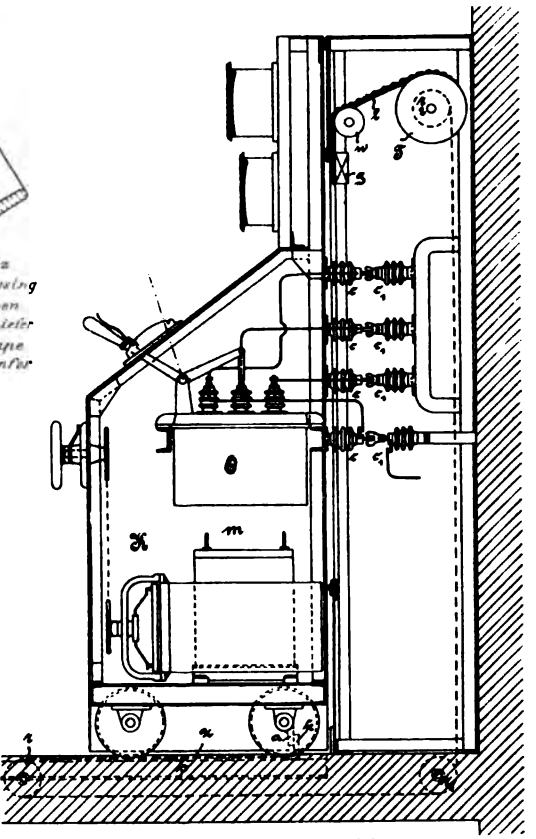


Fig. 114. Lahmeyer-Frankfurt.

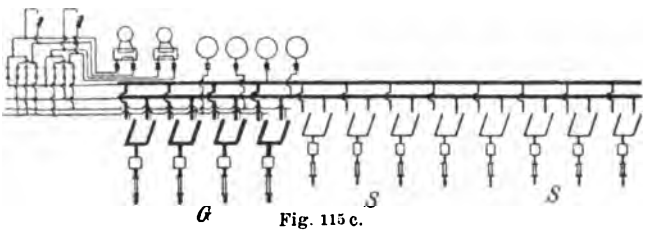
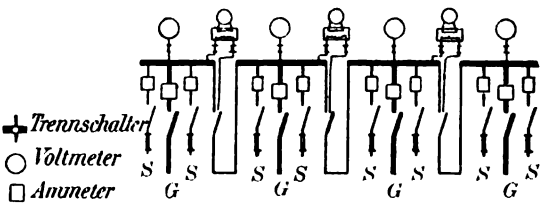


Fig. 115c.



Trennschalter
Voltmeter
Ammeter
Hauptschalter
Speiseschalter
Sicherung
Synchronisir-apparat

Fig. 115d.

Digitized by Google

7. Sammelschienen und Schalttafelleitungen.

In Fig. 115a bis 115d sind nach Clothier eine Reihe Sammelschienenanordnungen schematisch dargestellt[1]). In Fig. 115a (oben) ist nur eine einzige Sammelschiene für die vier Generatoren G und die acht Speiser S vorhanden, in Fig. 115b ist sie in zwei Hälften getrennt, die aber synchronisiert und miteinander verbunden werden können. In Fig. 115c sind zwei Sammelschienensysteme vorhanden, auf die man wahlweise durch Umschalter alle Leitungen schalten kann. In Fig. 115d ist jeder Generator mit je zwei Speisern an einen unabhängigen Abschnitt der Sammelschiene angeschlossen, die einzelnen Abschnitte können synchronisiert und miteinander verbunden werden. Ein als Ringleitung ausgebildetes Sammelschienensystem ist schon in Tafel II gegeben. Die Anordnung der Sammelschienen der großen Bahnzentrale in New York (74th Street) für acht Generatoren zu 5000 KW 6600 Volt erhellt aus Fig. 116: Zunächst sind zwei Hauptschienensysteme A und B vorhanden, von denen auf acht Speiseschienen C Verbindungen hergestellt werden. Von den Schienen C zweigt je eine Unterstation mit Einankerumformern ab[2]). In vielen Fällen erhält jede Unterstation mindestens von zwei unabhängigen Speisergruppen Strom. Wie diese unabhängigen Speiser in eine Unterstation mit zwölf rotierenden Umformern hineingeführt werden, zeigt Fig. 117: In jeder der drei Hauptleitungen A, B, C liegt an erster Stelle ein Oelschalter Oa, Ob, Oc der in Backsteinmauerwerk eingebaut ist. Das Kabel A speist zunächst die rotierenden Umformer Nr. 1, 2, 3, 4, die durch Oelschalter a und durch je drei Einphasentransformatoren b und Potentialregulatoren c mit dem Kabel A verbunden sind. Die Schalter d auf der Gleichstromseite unterbrechen bei Stromumkehr und beim Durchgehen der Umformer. Das Kabel B versorgt normalerweise die rotierenden Umformer Nr. 9 bis 12. Schließlich arbeitet das Kabel C auf die Umformer Nr. 5 bis 8. Nun sind eine ganze Reihe Verbindungsschalter P_1—P_3 vorhanden, mit deren Hilfe jedes Hauptkabel auf jede Umformergruppe geschaltet werden kann, z. B. mit Hilfe des Schalters P_1 kann das Kabel A auf die Umformergruppe Nr. 9 bis 12 geschaltet werden, so daß man entweder die ganze Unterstation in Parallelbetrieb oder ganz getrennt in drei Gruppen beliebig betreiben kann. Falls die drei Hochspannungsleitungen A, B, C in der Zentrale von getrennten Generatorgruppen gespeist werden, muß man in der Unterstation vor dem Schließen der Schalter P synchronisieren. Auf der Gleichstromseite sind insgesamt in

[1]) Alle Leitungen sind nur einpolig gezeichnet.

[2]) Die Schalter von Fig. 116 werden später besprochen.

Digitized by Google

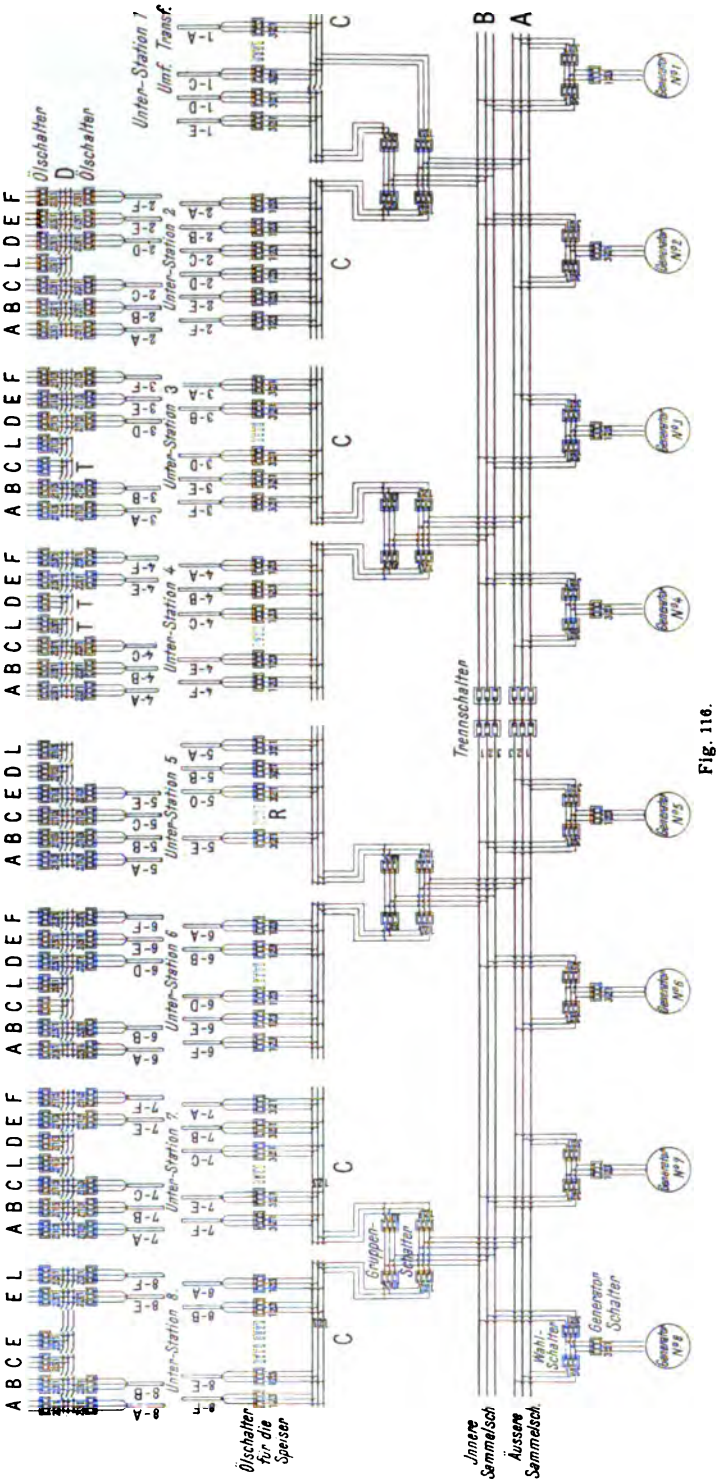


Fig. 116.

Digitized by Google

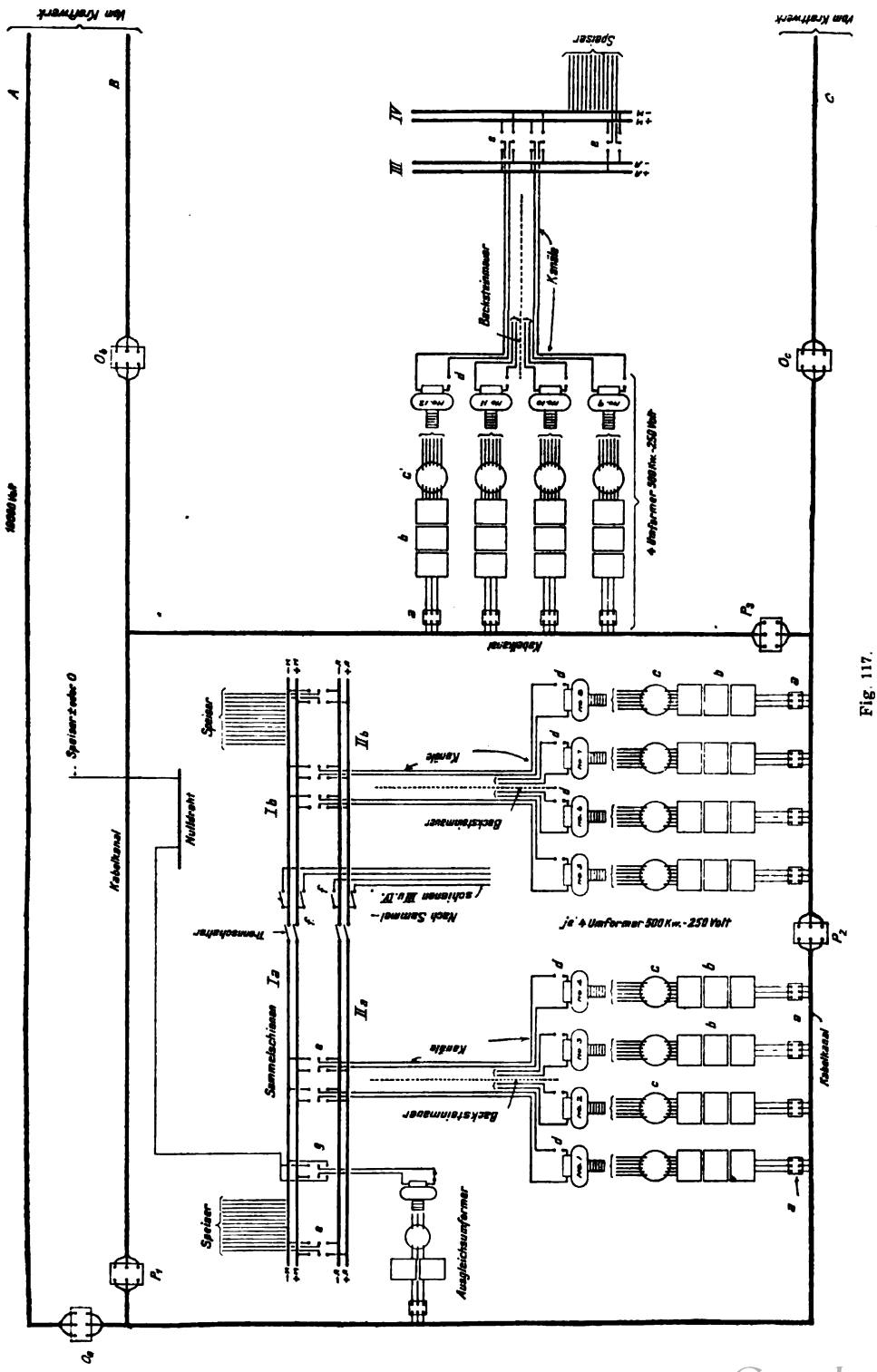


Fig. 117.

Digitized by Google

dieser Unterstation sechs unabhängige Sammelschienen Ia, IIb, IIa, IIb, III und IV vorhanden, die aber durch Trennschalter teilweise miteinander verbunden werden können. Außerdem geht von I und II eine Verbindungsleitung f nach den Sammelschienen III und IV. Durch Umschalter e kann man jeden Umformer auf mindestens zwei Sammelschienen schalten. Da das Gleichstromnetz (Beleuchtung) eine Dreileiteranlage ist, ist ein besonderer Ausgleichsumformer aufgestellt, der mit Hilfe des Umschalters g auf den gerade am stärksten belasteten Zweig geschaltet werden kann.

Die Sammelschienen bestehen häufig aus blankem Flachkupfer oder auch aus blanken Aluminiumschienen, seltener aus blankem Runddraht

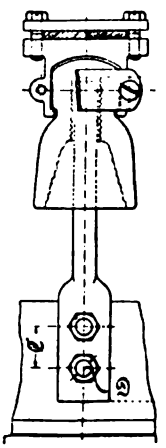


Fig. 118.

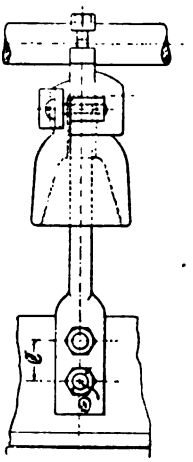


Fig. 119.

von 5 bis 10 mm Durchmesser oder auch aus Messing. Man geht selten unter einen Querschnitt von 100 qmm. Uebliche Querschnitte sind 20×3 mm für Ströme I unter 150 Ampere; 50×6 mm für $I < 300$ Ampere;

Fig. 120.

Fig. 121.

Fig. 122.

120×6 mm für $I > 300$ Ampere bis gegen 1000 Ampere. Für größere Stromstärken verwendet man am besten mehrere parallele Schienen, obwohl Kupferschienen anzutreffen sind in Dicken von $2^1/_2$ bis 25 mm und Höhen von 15 bis 250 mm. Die meisten Firmen beschränken je-

Digitized by Google

doch die Sammelschienenmaße auf 5 bis 10 Normalgrößen. Die Sammelschienen befestigt man auf der Rückseite der Schalttafel möglichst in

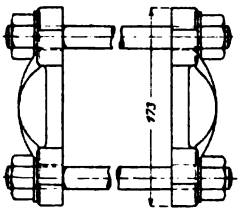


Fig. 123.

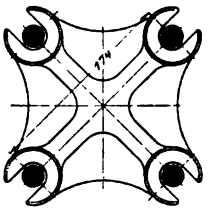


Fig. 124.

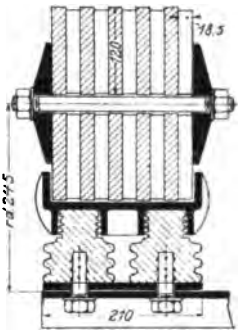


Fig. 125.

der Höhe auf Schienenträgern nach Fig. 118 u. 119, die aus Isolatoren mit einer Kappe bestehen und an den Profileisen des Gerüstes

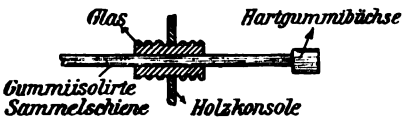


Fig. 126.

oder an Konsolen befestigt sind. Der Schraubendurchmesser D in Fig. 118 hat etwa 3/4 Zoll. Die Fig. 120 bis 122 zeigen Sammelschienen-

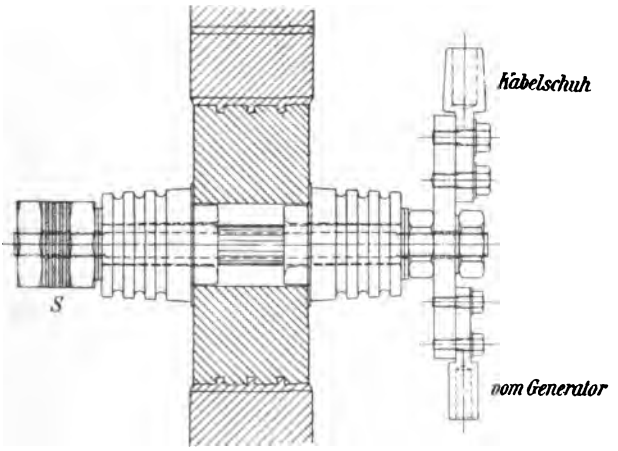


Fig. 127.

stützen von Voigt & Häffner für Spannungen bis 12000 Volt und zwar für Runddrähte, Doppel- und Einfachschienen (flach- und hochkant). Mehrere parallele Kupfer- oder Aluminiumschienen preßt man durch

Digitized by Google

Druckplatten nach Fig. 123 bis 125[1]) zusammen, in der letzten Fig. 125 ist zugleich auch ein Stützisolator von Lahmeyer-Frankfurt abgebildet. In Fig. 126 ist die gummiisolierte Sammelschiene in einer

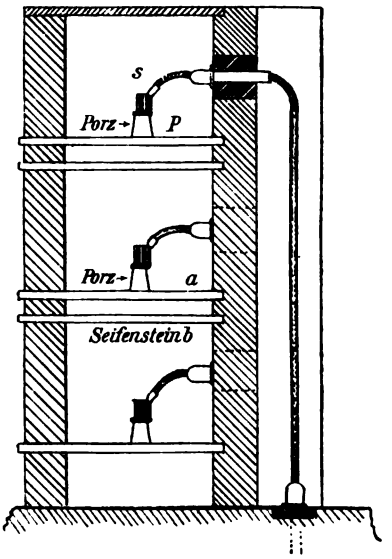


Fig. 128a.

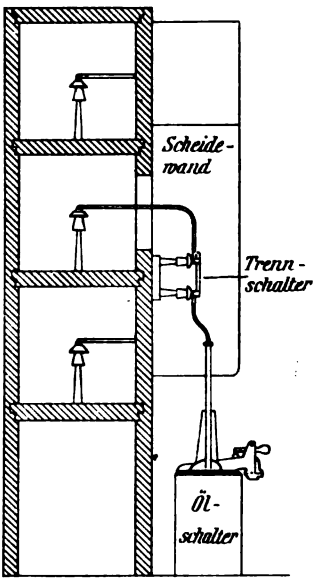


Fig. 128b.

Holzkonsole durch eine Glasbüchse gehalten. Die Befestigung der Sammelschienen S, die in feuersicheren Kanälen nach Fig. 52 untergebracht sind, ist deutlich aus Fig. 127 ersichtlich; sie sitzen auf hohen gerillten Porzellanisolatoren, die durch einen Anschlußbolzen durchsetzt sind. Man kann Sammelschienen auch als Bleikabel in leicht zugänglichen Kanälen verlegen. Für Spannungen über 20000 Volt genügt die einerseits offene Abdeckung der Sammelschienen nach Fig. 51 nicht mehr, es kommen dann ganz eingeschlossene Schienen nach Fig. 128a in Frage. Die Schienen sitzen auf hohen Isolatoren, die auf Seifensteinplatten stehen und zwar auf doppelten, damit ein Lichtbogen nicht vom Isolatorbolzen zur Nachbarschiene überschlagen kann (El. Review New York, 29. Okt. 1904, P. Rowe). Schließlich gibt Fig. 128b noch die Anordnung der Sammelschienen in einer 45000 Voltanlage, wobei die Schienen auf sehr hohen Isolatoren (Fig. 129) sitzen.

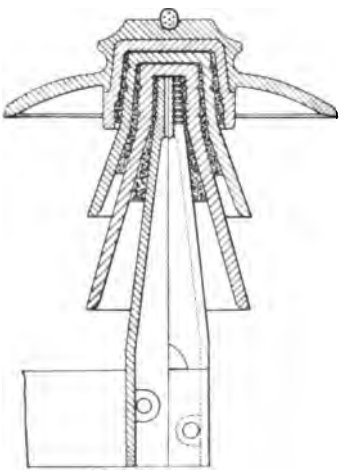


Fig. 129.

[1]) Aus den Lechwerken Augsburg (Lahmeyer-Frankfurt).

Digitized by Google

Die Kontaktstellen der Schienenverbindungen sind sauber zu schleifen und zu verzinnen.

Der Verband Deutscher Elektrotechniker schreibt folgende Durchmesser der Verbindungsschrauben vor:

Ampere	50	100	200	400	700	1000
Schraubendurchmesser	6	8	10	12	16	20 mm.

Die A. E.-G. verwendet die in nachstehender Tabelle wiedergegebenen Anschlußschrauben:

Kupferquerschnitt der Schiene	Anzahl und Dimensionen der Schrauben	Kupferquerschnitt der Schiene	Anzahl und Dimensionen der Schrauben
12 × 2	1 Stück 3/16"	40 × 10	1 Stück 5/8"
15 × 4	1 „ 1/4"	50 × 10	1 „ 5/8"
20 × 5	1 „ 5/16"	60 × 10	2 „ 3/8"
25 × 5	1 „ 3/8"	80 × 10	4 „ 3/8"
30 × 5	1 „ 1/2"	100 × 10	4 „ 1/2"
30 × 10	1 „ 1/2"	150 × 10	6 „ 1/2"

Für den Querschnitt der Schrauben ergibt sich etwa 1/2 bis 1 Ampere und für die Kontaktflächen 1/10 bis 1/2 Ampere pro qmm. Unterlagsscheiben sollen wiederum einen Durchmesser gleich dem doppelten Bolzendurchmesser haben.

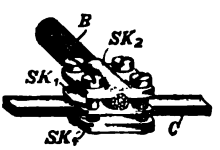
Die Stromdichte in blanken Sammelschienen ist bei großen Querschnitten 1 bis 2 Ampere/qmm, bei kleinen sogar 2 bis 4. Man kann den zulässigen Strom I ungefähr aus folgender Beziehung berechnen: $I = c \sqrt{u \cdot q}$, wobei u = Umfang des Kupferleiters, q = Querschnitt, c = 3,5 bis 4,5 ist, alles auf Millimeter bezogen. Auch die Verbindungsleitungen können in dieser Weise beansprucht werden; bei Kabeln ist nur etwa 75 % als nutzbarer Querschnitt zu rechnen. Für isolierte Leitungen sind die vom Verband deutscher Elektrotechniker festgelegten Querschnitte massgebend, die man jedoch etwas unterschreiten kann:

Querschnitt in Quadratmillimetern	Betriebsstromstärke in Ampere	Querschnitt in Quadratmillimetern	Betriebsstromstärke in Ampere	Querschnitt in Quadratmillimetern	Betriebsstromstärke in Ampere
0,75	4	25	80	240	330
1	6	35	90	310	400
1,5	10	50	100	400	500
2,5	15	70	130	500	600
4	20	95	165	625	700
6	30	120	200	800	850
10	40	150	235	1000	1000
16	60	185	275		

Digitized by Google

Leiter aus anderem Material als Kupfer sind im Verhältnis ihrer spezifischen Leitfähigkeit anders zu beanspruchen. Zellenschalterleitungen beansprucht man etwas stärker als die übrigen Verbindungsdrähte.

Die Abzweigungen von den Sammelschienen geschehen mittels Schienenklemmen (Fig. 130)[1]) von Siemens-Schuckert, gerader oder Winkelkabelschuhen (Fig. 130a bis 131) oder Abzweigklemmen (Fig. 132). In Fig. 132 ist zum Beispiel C = 8 mm, A = 15 mm und



C : 5 × 10 qmm
B : 25 qmm
Fig. 130.

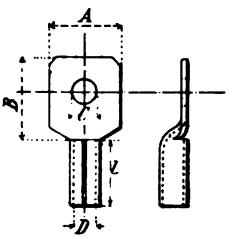


Fig. 130a.

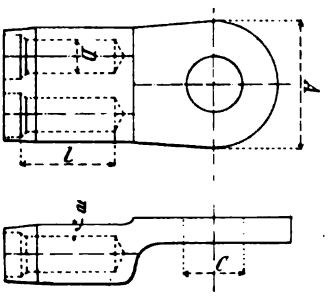


Fig. 130b.

D = 3/16 Zoll. In Fig. 130a ist für 40 Ampere D = 6 mm und C ebenfalls 6 mm, A = B = 12 mm; für 200 Ampere A = 38, C = 13, D = 15 mm und in Fig. 130b für 1800 Ampere A = 92, C = 1 5/8 Zoll, D = 32 mm. Die Lötlänge l (Fig. 130a und b) wähle man gleich oder größer als 2mal Kabeldurchmesser, der etwas kleiner ist als die zugehörige Bohrung D

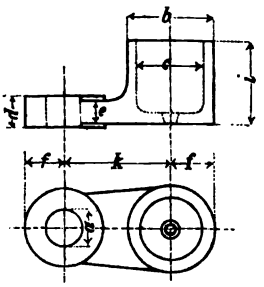


Fig. 131.

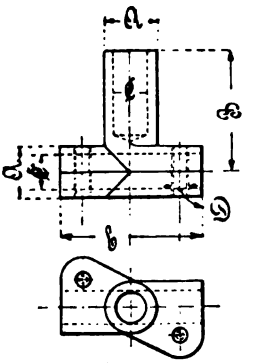


Fig. 132.

im Schuh. Die Wandstärke w des Schuhs am Kabelanschluß sei 1/4 D + 1 mm, das Bolzenloch C habe einen Durchmesser D $\sqrt{i}$ + 3 mm, falls i Kabel einzeln angelötet werden. Die Dicke a des flachen Teils sei $\frac{D}{2}$ bis $\frac{D}{4}$ + 1 mm; A = B = 2 bis 3 C. Die Kabeldurchmesser entnehme man vorstehender Tabelle. Der Kabelschuh (Fig. 130a) ist gepreßt,

[1]) In Fig. 130 ist ein 25 qmm-Kabel mit einer 5 × 10 mm-Schiene verbunden.

Digitized by Google

während der in Fig. 130a gegossen ist. Die Maße des Winkelschuhs Fig. 131 sind für ein Kabel von 50 mm Durchmesser:

a = 21, b = 68, c = 55, d = 19, e = 17, f = 33, i = 68, k = 82.

Für Ströme über 1000 Ampere verwendet man meist zwei und mehr Kabel.

Die Schienenverbindungen und -anschlüsse müssen leicht zugänglich sein, man verlege aber die Sammelschienen nicht direkt über einem Bedienungsgang oder es ist dann unter den Schienen ein sicheres Dach aus Isolationsmaterial einzufügen. An Kreuzungsstellen, die aber ebenso wie Kröpfungen möglichst zu vermeiden sind, sind über blanke Verbindungsleitungen Gummischläuche zu ziehen. Für Hochspannung sollte man jedoch nur sorgfältig isolierte Verbindungsleitungen benützen, d. h. Bleikabel mit Papierisolation oder besser Gummikabel, an exponierten Stellen mit Armierung. Bei Spannungen über 10000 Volt sollte man auch Gummikabel auf zuverlässigen Isolatoren montieren (Fig. 129), da äußerlich an Erde liegende Kabel schädliche elektrische Beanspruchungen

Fig. 133.

Fig. 134.

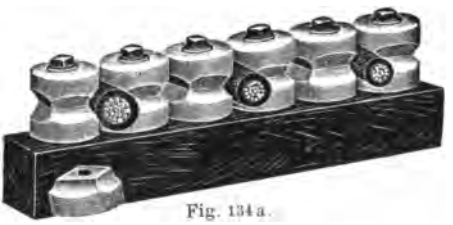


Fig. 134a.

erfahren können, und sich überdies die Gummiisolation mit der Zeit verschlechtert. Um Gummikabel feuersicher zu machen, kann man sie mit Asbest umklöppeln oder in einer geeigneten Masse tränken. Die Maschinenhausleitungen verlegt man je nach Stromstärke und Spannung

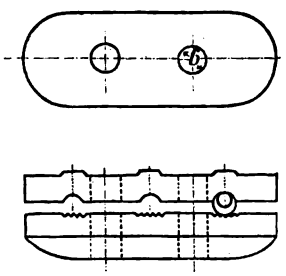


Fig. 135.

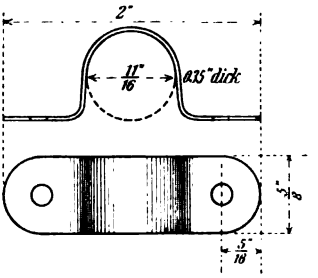


Fig. 136.

auf Porzellanrollen (Fig. 133, 134 u. 134a)[1]) oder Porzellanklemmen (Fig. 135) oder Isolatoren (Fig. 129); letzterer mit einem äußeren Durchmesser von 360 mm ist für Spannungen von 60000 Volt bestimmt. Die drei Glocken sind durch Emailglasur getrennt. Kabel befestigt man in

[1]) Von Murdock, Pittsburg, Pa.

Digitized by Google

kurzen Abständen auf Kabelhaltern nach Fig. 136 aus Blech, Fig. 137 und 137a aus Porzellan. In Fig. 138 u. 139 sind die Porzellankabel-

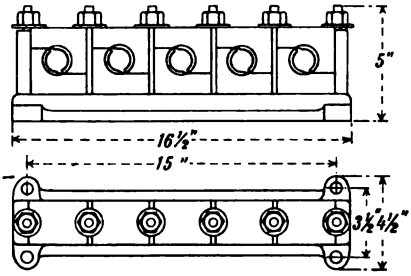


Fig. 137.

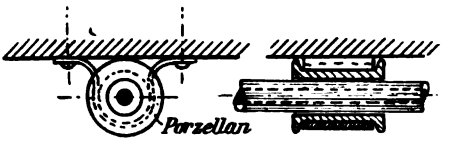


Fig. 137a.

träger auf Konsolen oder Hängern aus Flacheisen 70 × 20 mm befestigt; es ist dies die Ausführung der Zentrale Manchester. Für Wechsel-

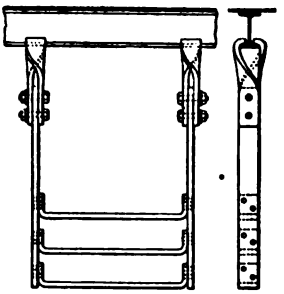


Fig. 138.

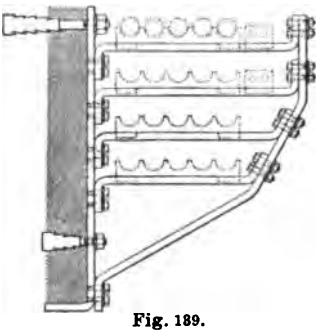


Fig. 139.

strom kommen zweifach konzentrische, für Drehstrom dreifach verseilte Kabel mit gemeinsamen an Erde liegendem Kupferschirm zur Anwendung.

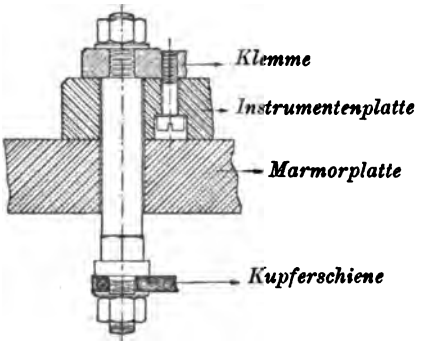


Fig. 140.

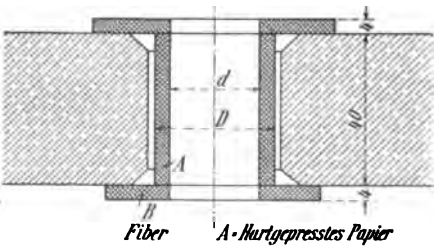


Fig. 140a.

Zum Anschluß von Instrumenten und Apparaten benützt man Durchführungsbolzen nach Fig. 140 (A. E.-G.), welche die Schalttafel durchsetzen und an deren Rückseite die Anschlußschiene angeschlossen wird. Fig. 140a zeigt eine isolierte Durchführung.

Digitized by Google

Leitungen auf Glocken und Rollen müssen mindestens 1 cm von der Wand abstehen, wozu je pro 1000 Volt ein weiterer Zentimeter kommt. Die Spannweite bei Rollen soll 80 cm oder weniger sein, bei Isolatoren 3 m oder weniger. Innerhalb des Maschinenhauses empfiehlt es sich selbst bei Verlegung auf Isolatoren oder Rollen isolierte Leitungen zu verwenden. Der raschen Uebersichtlichkeit halber verlege man sie nicht in Rohre oder höchstens streckenweise, so lange sie auf einem Fußboden entlang gehen oder als Steigleitung einen Fußboden durchsetzen. Für den letzten Fall kann man aber auch kräftige Hülsen aus Isolationsmaterial (Fig. 141) oder Schutzbleche (Fig. 142) verwenden.

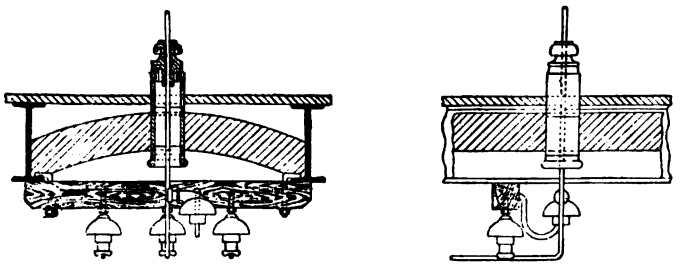


Fig. 141. Siemens & Halske.

Baumwollumklöppelte Kabel sind jedenfalls mit Bleiweiss zu imprägnieren. Für Querschnitte über 20 mm sind nicht mehr Drähte, sondern Kabel geeignet, blanke Drähte sind nur bis 50 qmm angängig. Für Spannungs- und Relaisleitungen, die meist für 100 bis 120 Volt ausgeführt werden, kommen fast allgemein isolierte, schwache Drähte zur Anwendung, meist mit 1 qmm Querschnitt, sofern nicht die tatsächliche Stromstärke einen anderen Querschnitt erheischt. Man montiere auch diese Hilfsdrähte sorgfältig auf Porzellanklemmen, fern von aller Hochspannung. Die zur Fernbetätigung von Schaltern erforderlichen Hilfsdrähte verlege man nicht in Rohre, man kann sie zu einem papierisolierten Kabel mit vielfarbigen Adern vereinigen [1]). Die gesamten Leitungen samt den zugehörigen Durchführungen und Kanälen sind im voraus beim Schalttafelentwurf genau zu disponieren, da man sonst bei der Montage auf Schwierigkeiten stößt. Eine gute Uebersicht über die Verlegung der Schalttafelleitungen gestatten die Photographien Fig. 141a bis d, die drei ersten sind Ausführungen der Elektrizitäts-A.-G. Helios, die letzte der Westinghouse Co. Fig. 141b und c entsprechen der Vorder- und Rückseite derselben Tafel.

Die Stromableitung von den Generatoren geht fast allgemein von der Maschinengrube nach unten, sie verläuft entweder in begehbaren

[1]) Fig. 57a u. 57b.

Digitized by Google

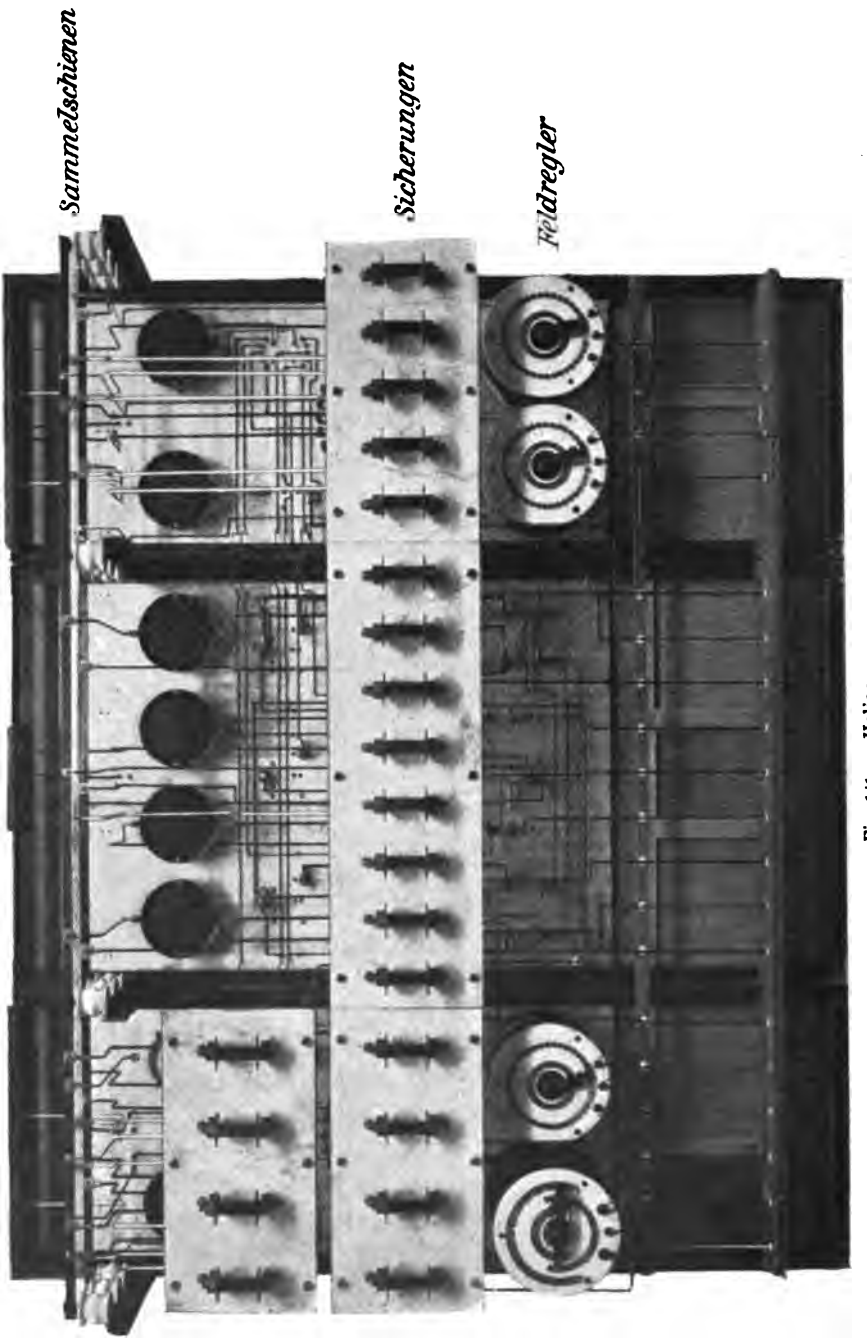


Fig. 141 a. Helios.

Digitized by Google

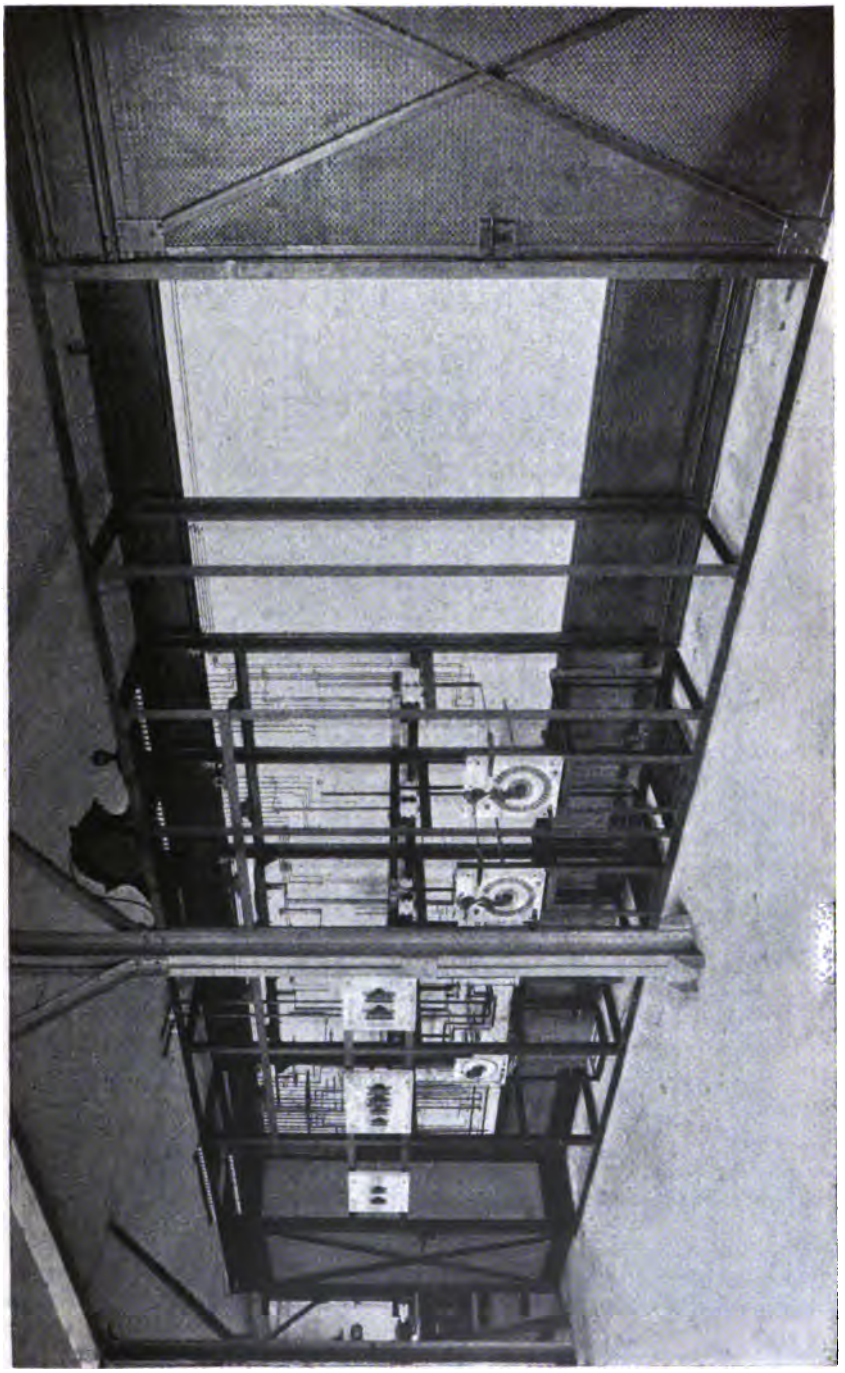


Fig. 141 b. Helios.

Digitized by Google

Gängen auf Klemmen nach Fig. 137 oder in direkt im Fußboden verlaufenden, mit Riffelblech abgedeckten Kanälen, im letzten Fall als blanke

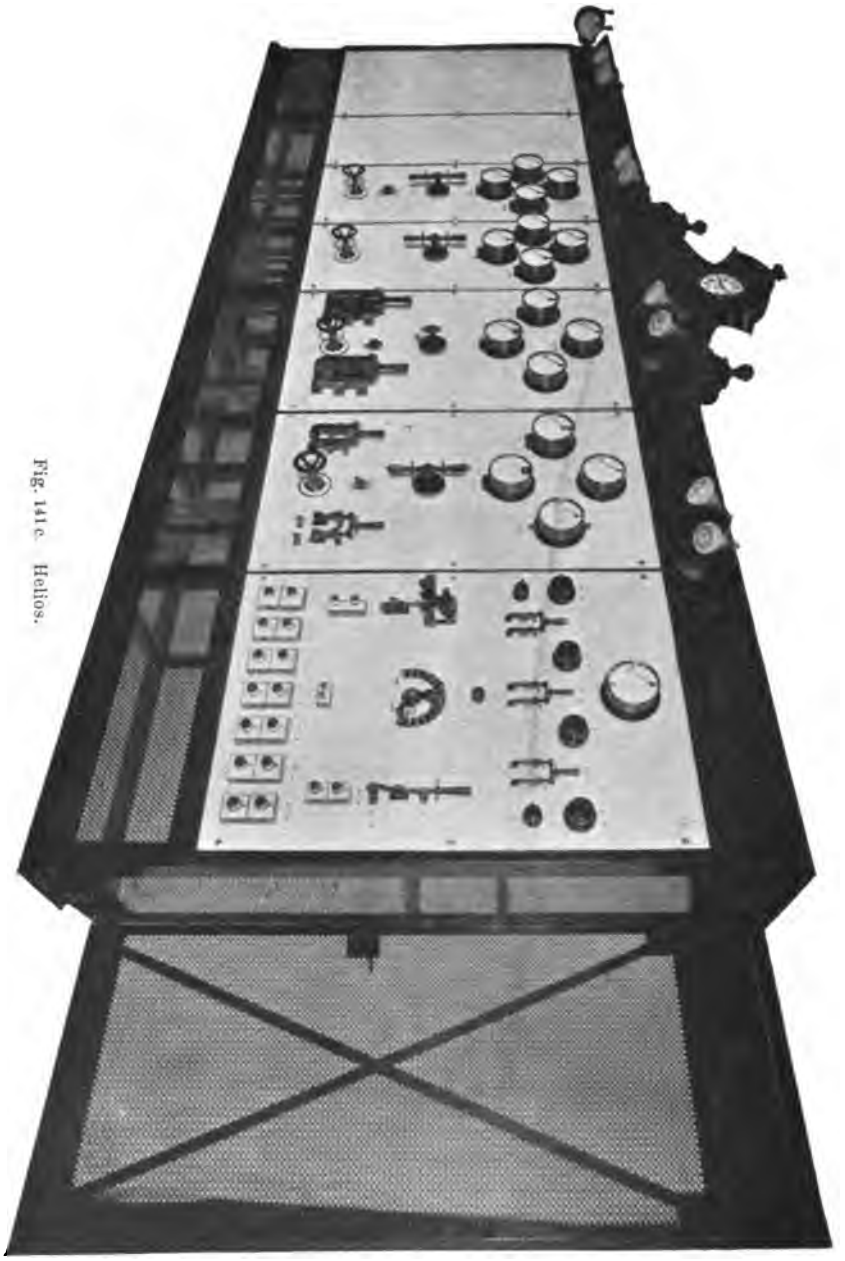


Fig. 141c. Helios.

Leitung auf Isolatoren in 1 m Abstand oder als Kabel in einem Sandbett mit Zwischenwänden zwischen den einzelnen Polen oder Phasen.

Digitized by Google

Leitungen verschiedener Generatoren sind getrennt zu führen, damit sich ein Kurzschluß nicht übertragen kann. Nach Fig. 142 a sind die drei Leitungen zwischen Generator und Schalttafel in drei getrennten Zement-

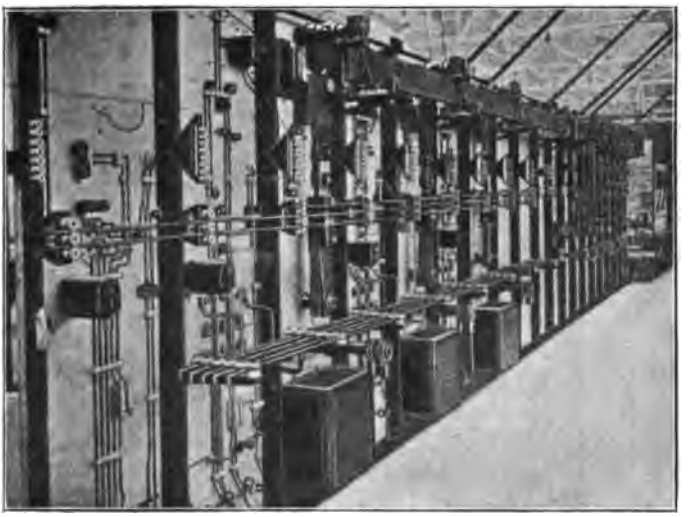


Fig. 141 d. .Westinghouse Co.

kanälen auf Isolatoren untergebracht. Auch bei seitlicher Abführung vom Generator verlegt man die Maschinenkabel in einen Kanal des Fuß-

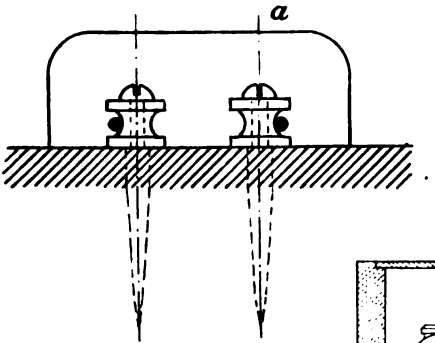


Fig. 142.

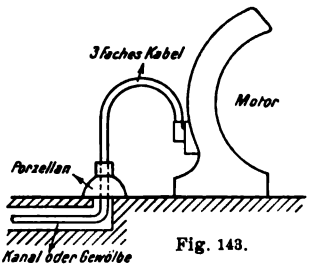


Fig. 143.

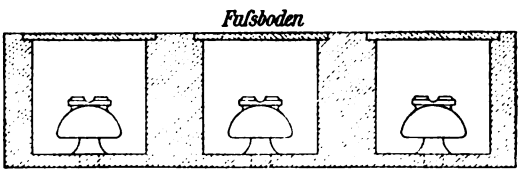


Fig. 142 a.

bodens (Fig. 143). Einen Endanschluß mit Porzellanglocken zur Verbindung der drei Generatorklemmen mit einem dreifach verseilten Kabel, wie er von den Land- und Seekabelwerken in Köln ausgeführt wird,

Digitized by Google

zeigt die Fig. 144. Vor dem Uebertritt in die Schaltapparate werden die mehrfachen Kabel in einem Kabelendverschluß in drei einzelne Leitungen aufgelöst. Ein solcher Anschlußkasten der Carville Station (Electrician, 22. Juli 1904) für 6000 Volt ist in Fig. 145 abgebildet. Der Kasten ist durch eine von A abgehende Leitung geerdet. Die drei Einzelleitungen sind im Winkel abgebogen und durch Distanzstücke aus

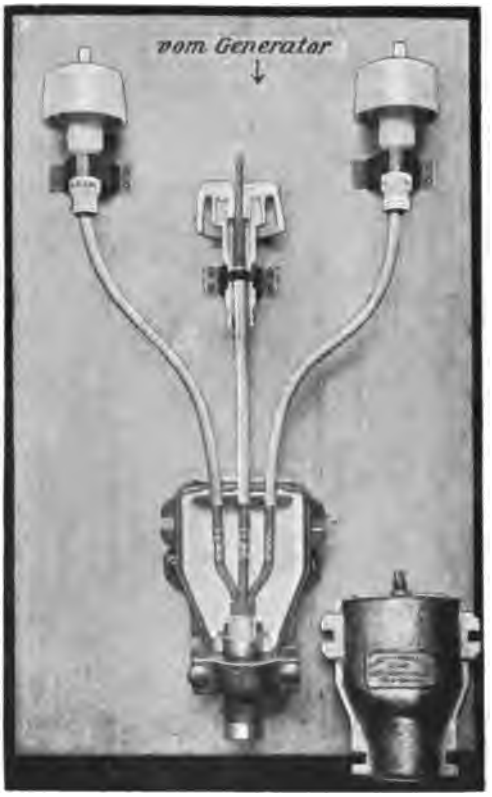


Fig. 144.

Ebonit festgelegt. Die Kabelglocke (Fig. 146) der General Electric Co. besteht aus 2 mm starkem Messing und ist mit Compoundmasse angefüllt, der Abschluß erfolgt einerseits durch die umgebördelte Glocke, auf der anderen Seite durch eine Platte A aus Seifenstein oder imprägniertem Holz. Die Länge C muß mit Oeltuch besonders isoliert werden. Bei 25000 Volt ist $A = 50$, $B = 500$, $C = 350$, $D = 12$, $E = 180$, $F = 100$ mm. Zum Anschluß eines zweifach konzentrischen Kabels an die Sammelschienen dient die Vorrichtung Fig. 147. Die Außendrähte werden unter den Konus a geklemmt, während die Seele des Kabels zur Schiene direkt durchläuft (Electrician, 8. Juli 1904). Der Anschluß ist von einem Schutztopf umschlossen.

Digitized by Google

Sämtliche Leitungen und Sammelschienen einer Phase oder einer Polarität sind durch einen Farbanstrich, z. B. rot, grün oder weiß, zu unterscheiden. Wie aus Fig. 57 u. 128a ersichtlich ist, deckt man in großen Hochspannungszentralen die blanken Sammelschienen jeder Phase für sich durch Zwischenwände aus Schiefer und Seifenstein (Speckstein) von 70 bis 150 mm Stärke oder aber durch Zement- oder Backstein-

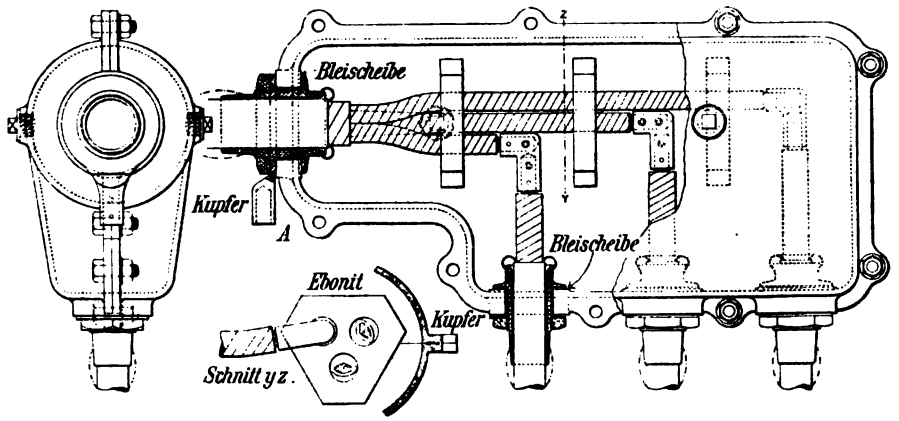


Fig. 145.

mauerwerk vollständig ab. Im letzten Fall sind die Anschlußstellen an die Schienen durch rasch abnehmbare Deckel zugänglich zu machen. In unmittelbarer Nähe der Sammelschienen sollten die Hochspannungsschalter aufgestellt sein; die Stromtransformer werden häufig in die Sammelschienenkanäle eingebaut. Um die Betriebs- und Feuersicherheit

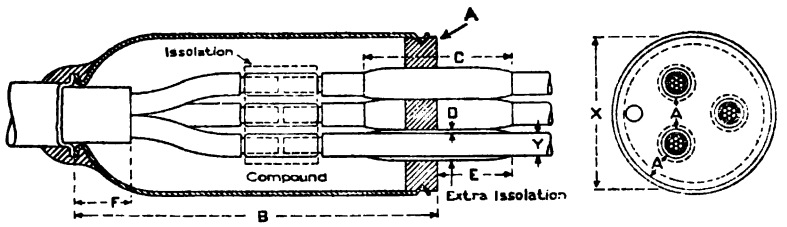


Fig. 146.

zu erhöhen, hat die Gen. El. Co. bei einer 30000 Volt-Anlage ein vom Maschinenhaus vollständig getrenntes Schalthaus (Fig. 148) aufgeführt. In dem oberen Stockwerk des 7 m hohen Hauses stehen die Hochspannungsölschalter O sowie die in Zellen Z montierten Messerschalter M. Zu ebener Erde findet man die Strom- und Spannungstransformatoren S und T, die Messerschalter M_1, die Zähler X und die Blitzschutzvorrichtungen L. Der Boden besteht aus 125 mm starkem Zement, die Mauern aus Backstein. Oeffnet man die beiden Trennschalter M und

Digitized by Google

M_1, so sind die wesentlichsten Apparate spannungslos (Electrical World 1904, S. 18).

Besondere Beachtung hat man in Hochspannungsanlagen der Anordnung und dem Aufbau der Meßtransformatoren zu schenken, bei Spannungen über 10000 Volt sollten Strom- und Spannungstransformer unter Oel liegen. Die Stromtransformer legt man öfters dicht neben ihre Sammelschiene, d. h. in einen für jede Phase abgeschlossenen Kanal nach Fig. 162. Viel mehr Unheil können jedoch die Spannungstransformatoren bei einem Kurz- oder Erdschluß anrichten, da an ihrer Primärwicklung meist eine riesige Energie zur Verfügung steht. Sie

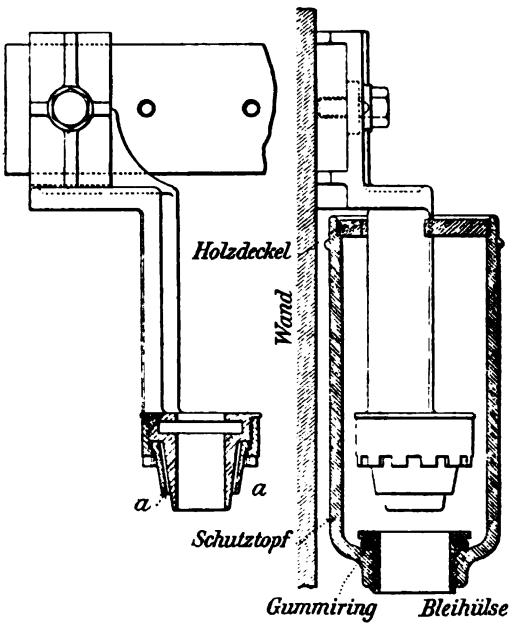


Fig. 147.

sind deshalb in feuersichere Zellen oder Nischen, die aber leicht zugänglich sein müssen, abzuschließen, damit eine Explosion derselben sich nicht weiter verbreitet. Ferner sind alle Meßtransformatoren im Sekundärkreis zu sichern. Ferranti legt bekanntlich ein Wasserrohr vor seine statischen Instrumente, der Inhalt derselben verdampft einfach bei Kurzschluß.

Nicht allein die Sekundärkreise der Meßtransformatoren, sondern auch die Schalthebel von Hochspannungsschaltern und die Gestelle von Hochspannungssicherungen sind zu erden.

Fertig zusammengebaute Schalttafeln sollte man ebenso wie Maschinen mit einer geeigneten Ueberspannung prüfen, d. h. bei abgetrennten Generatoren und Fernleitungen mit mindestens 2000 bis 3000

Digitized by Google

Volt bei Betriebsspannungen unter 1000 Volt und darüber mit doppelter Betriebsspannung und zwar gegen Erde und die Phasen gegeneinander.

Im Betrieb befindliche Schaltanlagen sind regelmäßig rigoros in allen Teilen zu besichtigen und zu untersuchen. Lose Schrauben sind nachzuziehen, ehe sie einen Kurzschluß erzeugt haben; Staub ist mit Hilfe eines kleinen Luftkompressors zu entfernen, bezw. wenn er wie gewöhnlich ölig ist, vorsichtig abzuwischen. Sicherungen sind besonders aufmerksam zu beobachten; wird eine Sicherung bei normalem Strom ungewöhnlich heiß, so ist sie zu ersetzen. Länger als zwei Jahre sollte eine Sicherung überhaupt nicht in Betrieb sein. Das Oelniveau von

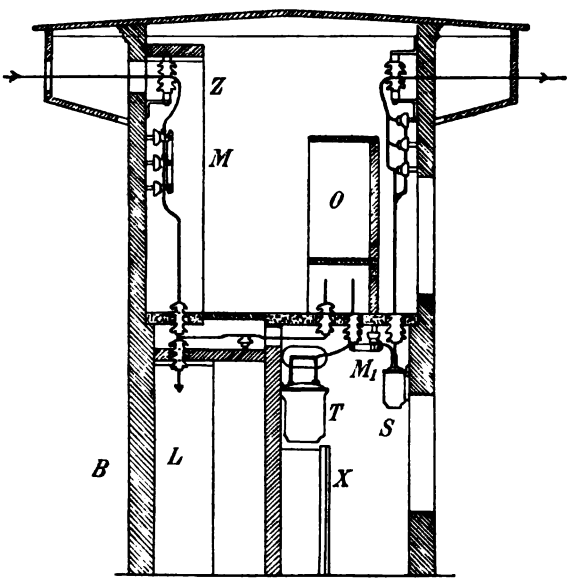


Fig. 148.

Oelschaltern und Oelsicherungen ist öfters zu kontrollieren. Der Nullpunkt der Meßinstrumente und die Zuverlässigkeit derselben ist so oft als möglich nachzusehen. Es ist z. B. immer leicht festzustellen, ob die einzelnen Voltmeter gleich zeigen, ob die Summe der Ampere und der von den Zählern angegebenen Wattstunden in den Generator- und Speiserkreisen sich entsprechen.

8. Leitungsausführungen.

Der Anschluß an Kabelnetze, die man bis gegen 20000 Volt ausführt, erfolgt in der schon erwähnten Weise durch Kabelglocken nach Fig. 149 oder auch durch Kabelschuhe nach Fig. 150; beide Figuren sind den Berliner Elektrizitätswerken entlehnt. In Fig. 149

Digitized by Google

sind vor dem Anschluß noch Sicherungen und Trennschalter T eingefügt, die in einer langen Serie nebeneinander liegen. Aus Fig. 150

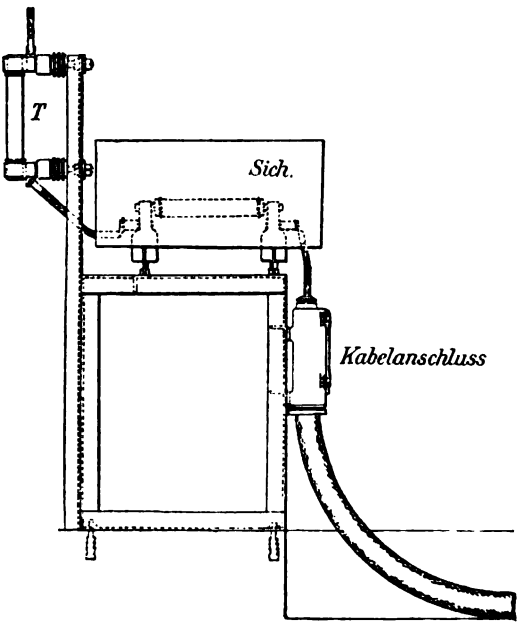


Fig. 149.

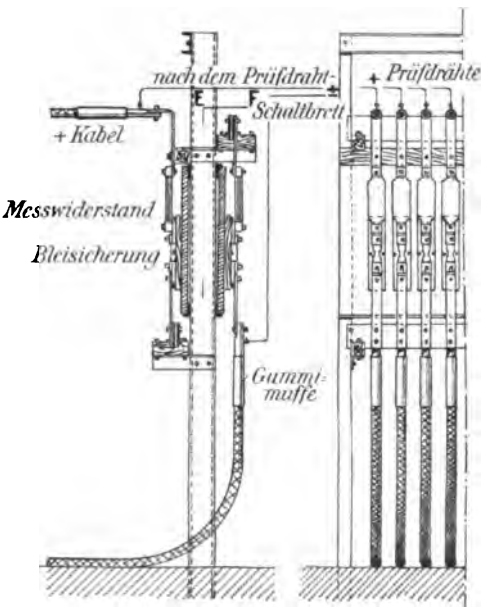


Fig. 150.

ist außerdem der Einbau von Meßwiderständen und Prüfdrähten zu erkennen. Die ganze Kabelschar verläßt das Maschinenhaus in einem

Digitized by Google

unterirdischen Kanal. Der Anschluß an Freileitungen erfolgt vom Schaltbrett aus zunächst durch Drähte oder Kabel, die auf Isolatoren ver-

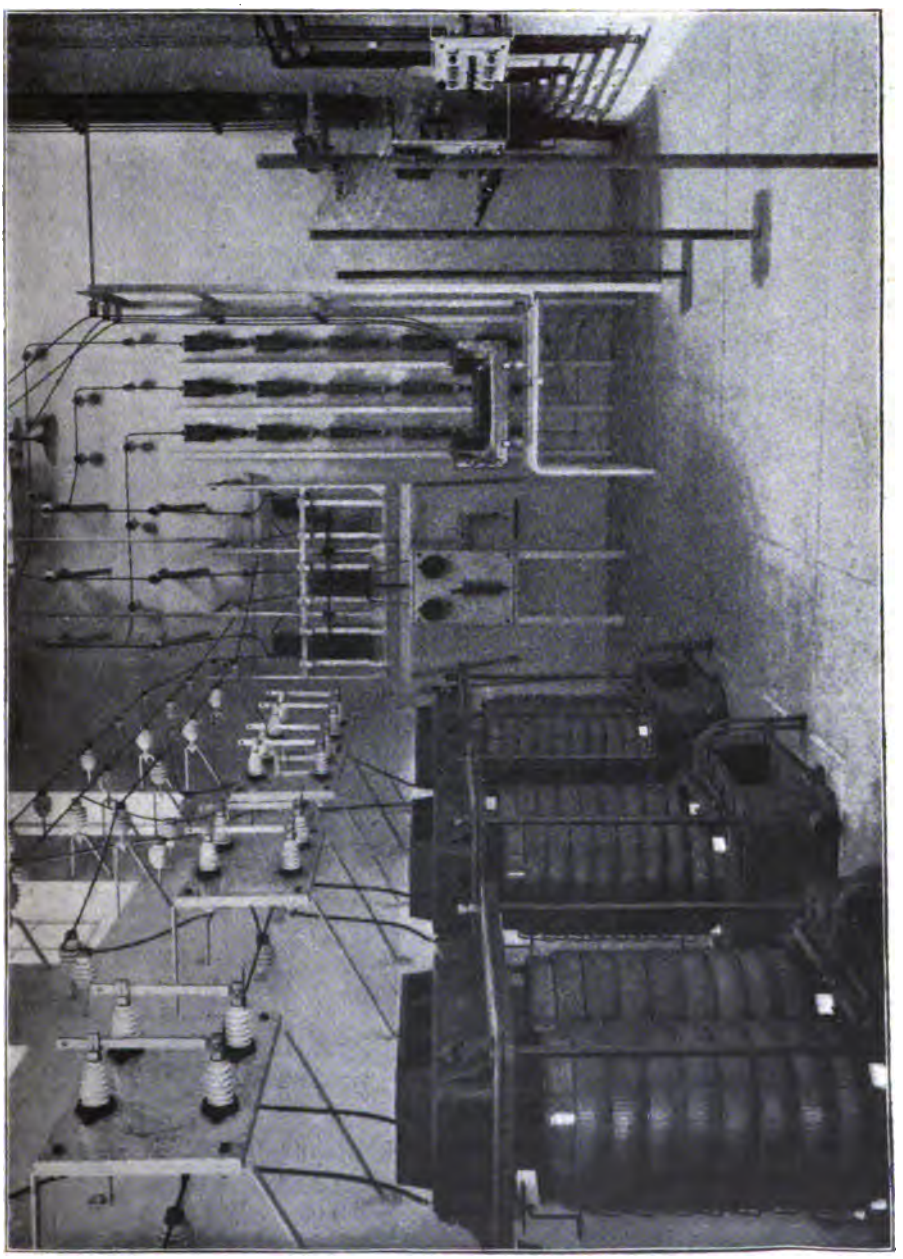


Fig. 151. E.-A.-G. Alioth.

legt und bei Niederspannung wohl allgemein blank, bei Hochspannung aber gut isoliert ausgeführt werden. Eine derartige Leitungsführung

Digitized by Google

der Elektrizitäts-A.-G. Alioth für etwa 30000 Volt ist in Fig. 151 deutlich vor Augen geführt. Die Isolatoren gleichen der Abbildung Fig. 152, welche von Brown, Boveri & Cie. für Innenleitungen und Sammelschienen bei 40 000 Volt benützt wird. Die drei Porzellanteile sind durch Email verbunden. Die Wände, längs deren die Drähte verlaufen, sollten aus feuersicherem Material bestehen. Die direkte Durch-

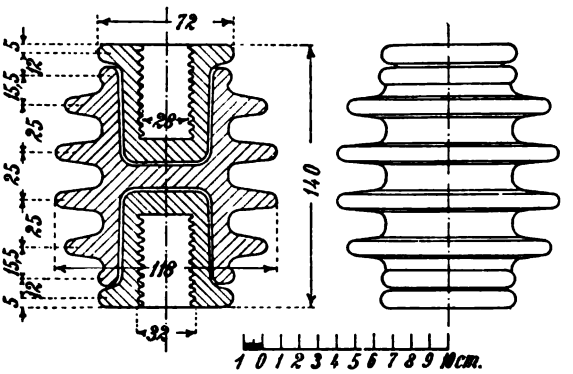


Fig. 152.

führung ins Freie geschieht in geeigneter Höhe durch die Gebäudewand, am besten durch die Giebelwand [1]) oder vermittels eines kleinen Vorbaus, bezw. eines Ausführungsturmes. Die Maueröffnung wird durch einen

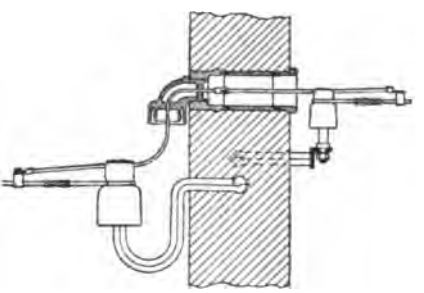


Fig. 153.

Porzellantrichter (Fig. 153 der Siemens-Schuckert-Werke) oder ein Porzellanrohr oder auch wohl durch ein Steingutrohr ausgefüttert. Ganz nah innerhalb und außerhalb der Gebäudemauer sind Isolatorenreihen zu befestigen, zwischen denen die Leitung zentrisch durch das Rohr gespannt wird. In Fig. 153 ist die Zu- und Ableitung an den Isolatoren abgespannt und beiderseits der Verbindungsdraht angesetzt. Die Art der Ausführung hängt natürlich von der Spannung, vom Klima,

[1]) Die anderen Wände sind ungeeignet wegen des Abtropfens von Regenwasser etc.

Digitized by Google

von den Abmessungen der Leiter und von der Art und Höhe des Gebäudes ab. Die wichtigsten Anforderungen sind: die Isolation der Aus-

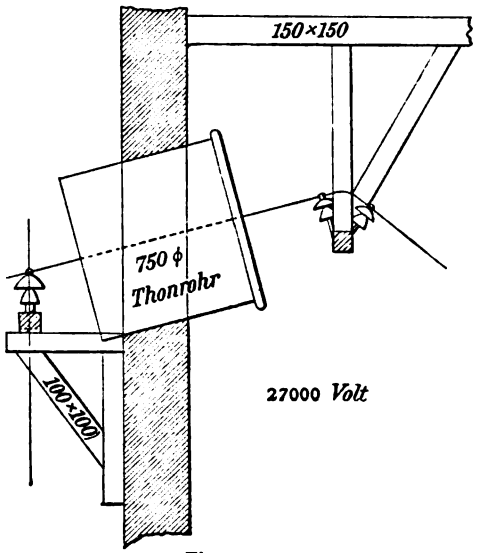


Fig. 154.

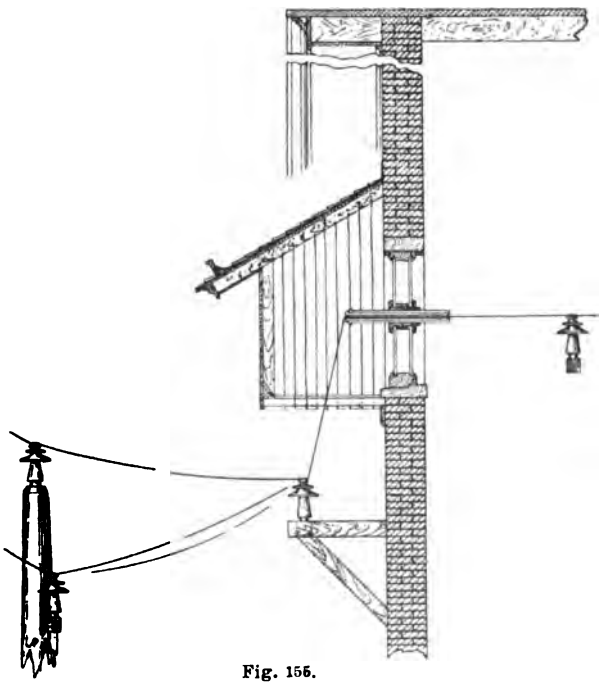


Fig. 155.

führung muß dauernd gut bleiben, es darf also mit der Zeit keine Berührung der Drähte gegeneinander und gegen Erde erfolgen, das Eindringen

Digitized by Google

von Regen, Schnee und Staub soll ausgeschlossen und die Befestigung dauerhaft und einfach sein. Sind die mechanischen Spannungen in den Leitungen sehr groß, so sollten dieselben nicht von der Gebäudemauer aufgenommen werden, sondern von einem besonderen Gestänge. In der Ausführung Fig. 154 [1]) für 27 000 Volt ist für jede der Leitungen ein Loch mit 750 mm Durchmesser in der Mauer vorgesehen, das mit einer Tonröhre ausgefüttert ist. In Fig. 155 [1]) sind die Ausführungsöffnungen mit zwei Glasscheiben abgedeckt, in deren Zentrum ein Porzellanrohr befestigt ist, durch welches der Leitungsdraht geführt wird; überdies ist ein besonderes Dach über den Ausführungen angebracht, um Regen, Schnee und Eis abzuhalten. Die Glasscheiben haben den Nachteil, daß sie sich leicht mit Feuchtigkeit überziehen und dann zu Entladungen Veranlassung geben. Bei der im Winkel geführten Ausführung (Fig. 156) [1]) sind die Oeffnungen ganz unbedeckt; in dem Vorbau sind zugleich die Blitzableiter untergebracht. Vielfach werden auch nach Fig. 157 (bis 16000 Volt) in die Maueröffnungen einfach Glasscheiben, z. B. von 300 × 300 mm, eingesetzt, in deren Mittelpunkt ein 30 bis 60 mm großes Loch ausgespart wird. Die Rohre zum Ausfüttern der Oeffnungen sind zu erden.

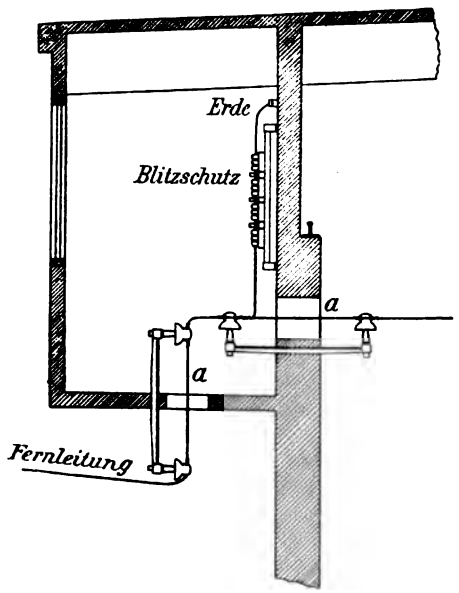


Fig. 156.

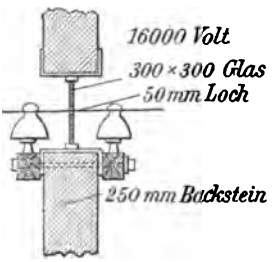


Fig. 157.

8a. Die Schaltanlagen von Brown, Boveri & Co. A.-G., der Maschinenfabrik Oerlikon und der Elektrizitätsgesellschaft Alioth.

Die Firma Brown, Boveri & Co. A.-G. hat schon seit Jahren im Bau von Hochspannungsschaltanlagen und -schaltapparaten Hervorragendes geleistet; sie stehen auch, was Höhe der Spannung und

[1]) Nach den Transactions Am. Inst. El. Eng. 1904.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Leistung anlangt, den amerikanischen Anlagen keineswegs nach. Die erste derartige Anlage der Firma Brown, Boveri & Co. ist wohl die 16000voltige Padernoübertragung für Mailand, wo C. E. Brown im Jahre 1897 zuerst Hochspannungsölschalter verwendet hat. Aus neuerer Zeit stammen folgende Drehstromanlagen mit Spannungen von 20000 bis 40000 Volt: Ueberlandzentrale Beznau (25000 Volt) an der Aare in der Schweiz, Anlage Crespi & Co., Mailand (40000 Volt), Fure et Morge in Frankreich (Isère) für 26000 Volt, sowie Cellina, das Elektrizitätswerk für Venedig (36000 Volt).

Die Schaltanlage Beznau für 11 Drehstromgeneratoren je zu ca. 1100 PS und 66,6 Touren, die direkt auf die vertikale Welle von Wasserturbinen montiert sind, ist aus Tafel VI zu ersehen. Für die Erregung von 200 Volt sind zwei besondere 400 PS-Turbinen vorhanden. Die Generatoren arbeiten mit 8000 Volt auf zwei Sammelschienensysteme, die als Ringleitung ausgebildet sind; eines der Systeme ist für die Netzteile mit konstanter Belastung (Beleuchtung), das andere für die Netzteile mit stark schwankendem Betrieb (Bahnen etc.) bestimmt; sie können aber auch beide zusammengeschaltet werden.

Für die fernabliegenden Stromabnehmer wird vermittels wassergekühlter dreiphasiger Oeltransformatoren von je 910 KVA die Spannung auf 25000 Volt gesteigert. Die von den Generatoren kommenden Leitungen gehen zuerst durch Sicherungen, die direkt neben den Generatoren angeordnet sind, dann durch einen unterirdischen Kanal bis zum Schaltraum ebener Erde, worin die 8000 Volt-Apparate auf einem besonderen Gerüst untergebracht sind. Nachdem sie die Oelausschalter passiert haben, gehen sie zu dem dahinter liegenden Sammelschienengerüst, von wo die Abzweigungen für die Fernleitungen nach oben oder für die 25000 Volt-Transformatoren nach unten erfolgen. Die Hochspannung von 25000 Volt ist wieder nach oben zu einem eigenen Gerüst geführt.

Die eigentliche Schalttafel, welche in der ersten Etage angebracht ist, teilt sich in zwei Teile: den Schalttisch oder Schaltpult für die Apparate der Generatoren und eine dahinter befindliche Schaltwand mit den Apparaten für die abgehenden Leitungen. Beide Teile enthalten nur von Strömen niederer Spannung durchflossene Meßinstrumente und Regulierwiderstände, sowie stromlose Handgriffe zur Betätigung der verschiedenen Ausschalter. Es ist deshalb für die Bedienung die größtmöglichste Sicherheit gewährleistet. Abweichend von der bisher üblichen Ausführungsform bestehen die Flächen, sowohl die des Schalttisches als die der Schaltwand, aus gußeisernen, teilweise polierten Platten, von welchen sich die vernickelten Instrumente gut abheben. Zum Zwecke einer möglichst gedrängten Anordnung sind letztere durchweg als Profilinstrumente ausgeführt, und zwar sind die Wechselstrominstrumente

Digitized by Google

nach der Hitzdrahttype, die Gleichstrominstrumente nach der Drehspulentype gebaut.

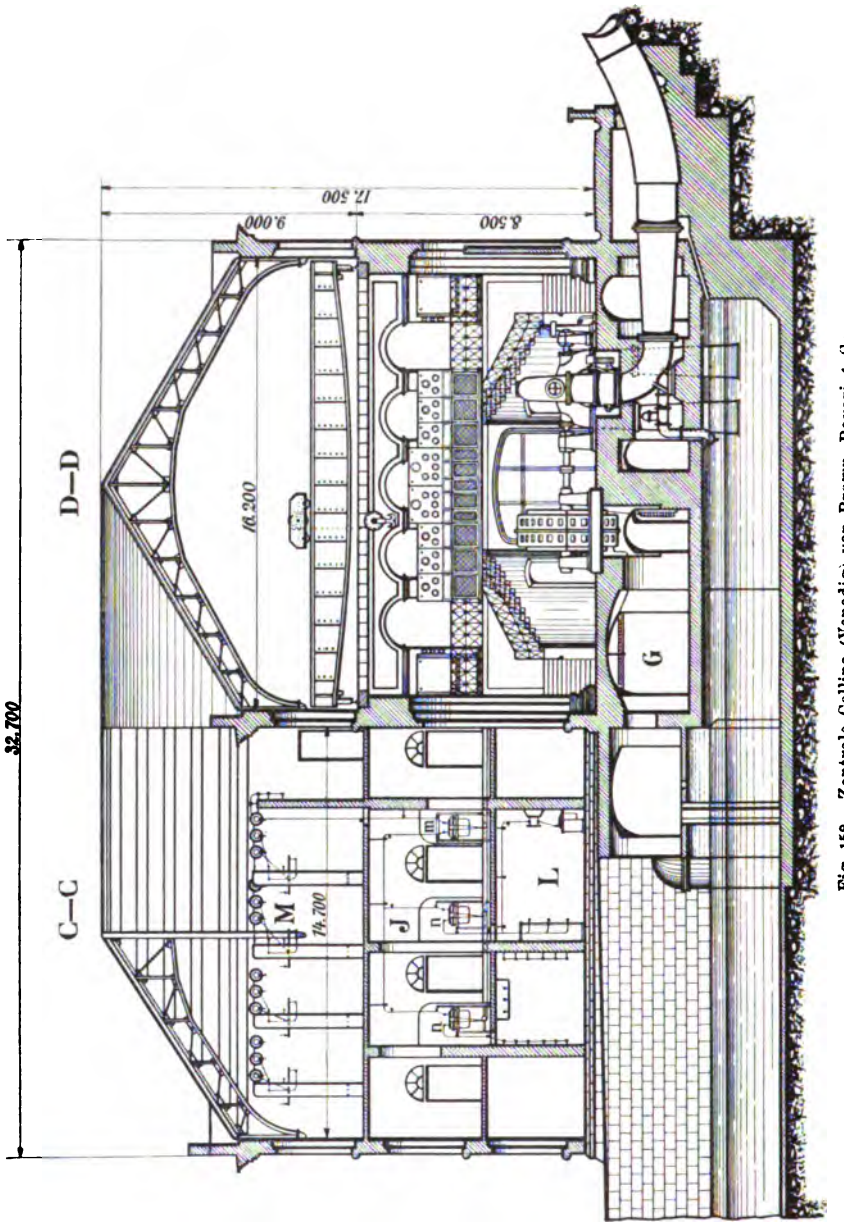


Fig. 158. Zentrale Collina (Venedig) von Brown, Boveri & Co.

Der Schaltpult ist in 13 Felder eingeteilt, entsprechend den 11 Generatoren und den 2 Sammelfeldern für die beiden Sammelschienensysteme. Außerdem ist zu beiden Seiten an der Maschinenhauswand

Digitized by Google

ein großes Sammelvoltmeter in von überallher sichtbarer Stellung angebracht.

Wie bereits gesagt, sind die wirklich stromführenden Apparate in speziellen Gerüsten vereinigt; jedes Gerüst enthält einen automatischen Ausschalter, sowie eventuell einen Stromwandler für das Amperemeter und einen Spannungstransformator für das Voltmeter. Die Ausschalter sind alle als Oelausschalter konstruiert und können vermittels des am Schalttisch angebrachten Handgriffes und einer mechanischen Uebersetzung durch Gallsche Kette von Hand ausgelöst werden. Außerdem sind sie noch mit einer automatischen Auslösung (siehe später) versehen, derart, dass der sie passierende Strom bei einer bestimmten Stromstärke eine Aluminiumscheibe zu drehen beginnt, welche durch diese drehende Bewegung ein kleines Gewicht hebt und dadurch zuletzt einen Relaisstromkreis schließt, welcher durch einen Elektromagneten den Ausschalter auslöst. Diese automatische Vorrichtung macht den Ausschalter in des Wortes wirklicher Bedeutung zu einem automatischen Zeitausschalter, indem — je nach der Größe der Ueberlastung — die Scheibe sich schneller oder langsamer dreht und daher bei größerer Stromstärke sehr schnell, bei Kurzschluß momentan den Ausschalter öffnet.

Sämtliche Hauptstrom führende Verbindungen sind als mit Asbest isolierte Kupferleitungen ausgeführt. Die zu den

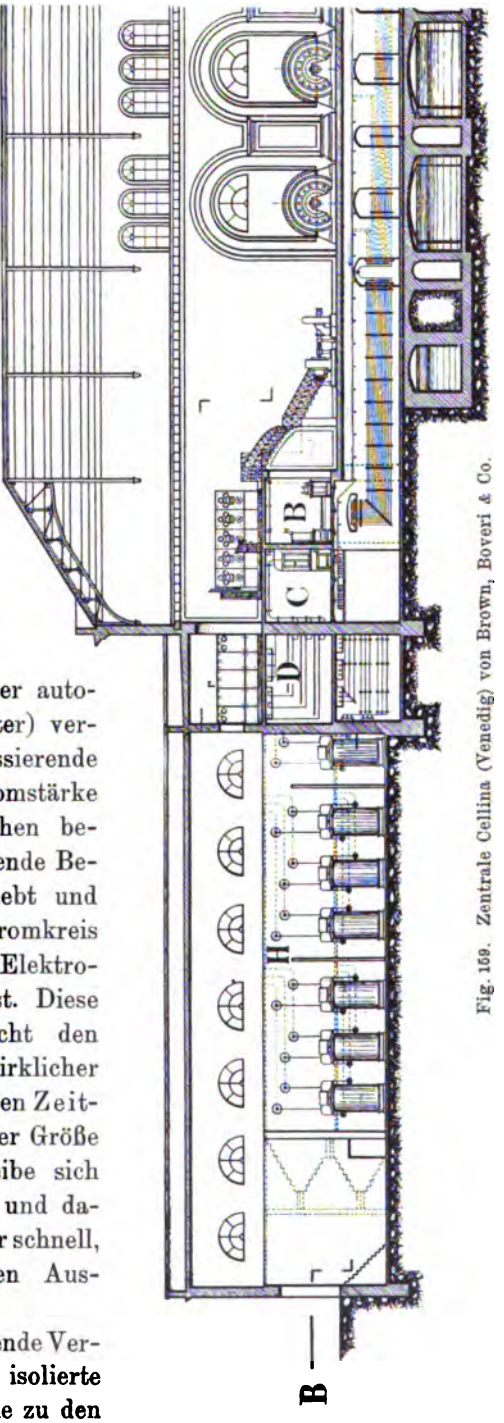


Fig. 169. Zentrale Cellina (Venedig) von Brown, Boveri & Co.

Digitized by Google

Meßinstrumenten gehenden Leitungen sind in Bergmannröhren verlegt. Die abgehenden Leitungen passieren vor dem Verlassen des Gebäudes noch je eine Blitzschutzvorrichtung, die später besprochen wird.

Die ganze Anlage verbindet mit der größten Sicherheit für die Bedienungsmannschaft gleichzeitig die größte Uebersichtlichkeit und Handlichkeit. Der Schalttafelwärter hat, hinter dem Schalttisch stehend, gleichzeitig die Maschinengruppe selbst und die sie bedienenden Apparate und Instrumente vor Augen, ferner — leicht erreichbar — auf der hinter ihm stehenden Schaltwand sämtliche Apparate für die abgehenden Leitungen. Auch ist die gesamte

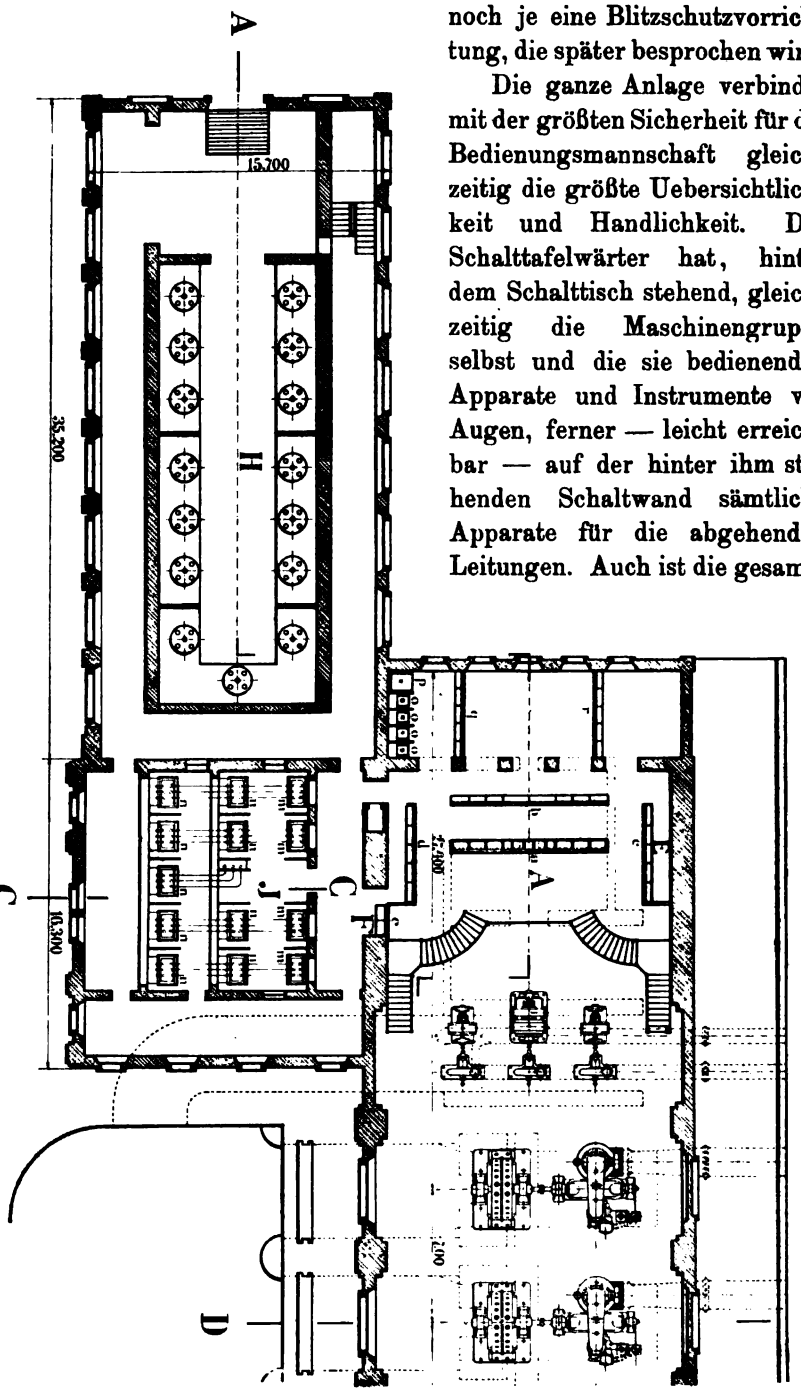


Fig. 180. Zentrale Cellina (Venedig) von Brown, Boveri & Co.

Digitized by Google

Anlage so unterteilt und die einzelnen Teile so voneinander getrennt aufgestellt, daß bei allfälligen Reparaturen leicht an einzelnen Teilen gearbeitet werden kann, während die übrigen im Betriebe bleiben.

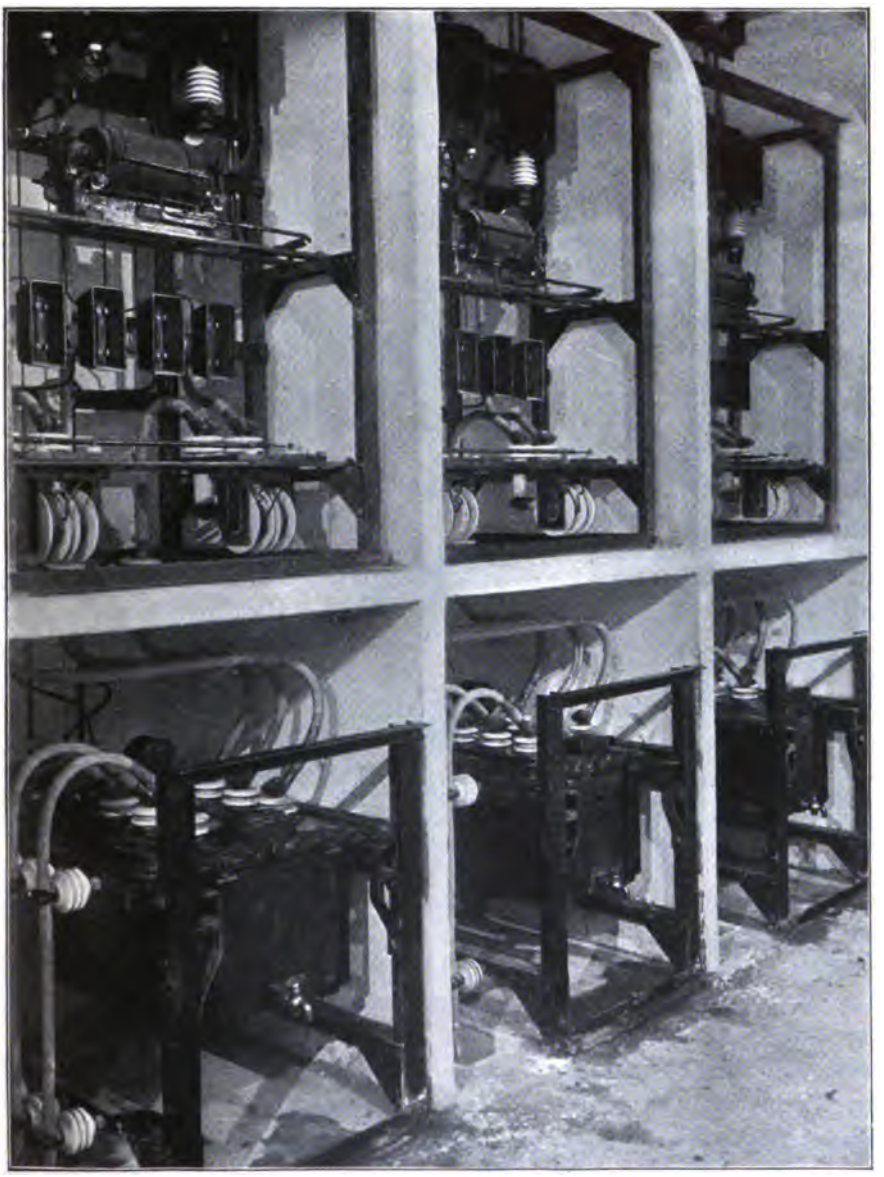


Fig. 161. Zentrale Cellina (Venedig) von Brown, Boveri & Co.

Das Elektrizitätswerk Cellina-Venedig (Fig. 158 bis 160), dessen elektrischer Teil von Brown, Boveri & Co. geliefert wurde,

Digitized by Google

enthält 6 Drehstromgeneratoren[1]) für ca. 1800 KW, 315 Touren und 4000 Volt (variabel von 3700 bis 4800 Volt), direkt mit Wasserturbinen gekuppelt; für die Erregung sind drei besondere Turbodynamos von ca. 130 KW und 500 Touren vorhanden; eine davon ist noch mit einem Synchronmotor, der als Motor und Generator arbeiten kann, versehen. Die ganze Zentrale ist 115,8 m lang und maximal 32,7 m breit. Die Generator- und Erregerleitungen liegen in Souterrainkanälen, zur Bedienung der Generatoren ist der Schaltpult a, für die Verteilung sind

Fig. 162. Zentrale Cellina (Venedig) von Brown, Boveri & Co.

die Flachtafeln b, c, d, r und q vorhanden, die zum Teil senkrecht zueinander stehen. Darunter sind Räume B, C, D mit den Regulierwiderständen, Oelschaltern und 4000 Volt-Sammelschienen. Zur Erzeugung der für die Fernleitung bestimmten Hochspannung (36000 Volt) sind 15 Einphasentransformatoren H zu 1000 KVA aufgestellt, es bilden je drei Einphasentransformatoren eine Gruppe. Die Spannung in Venedig wird konstant auf 27800 Volt gehalten. J ist ein Schalterraum mit einer großen Zahl Oelschalter m und n für den Anschluß der Transformatoren und der Fernleitungen, sie sind durchweg nach Fig. 161 (unten) in Zellen mit Zementwänden eingebaut, darüber liegen ebenfalls abgeschlossen Strom- und Spannungstransformatoren sowie Sicherungen

[1]) Es sind nur 2 dargestellt!

Digitized by Google

für die Meßkreise. Auch die einzelnen, auf Isolatoren befestigten Sammelschienen Fig. 162 sind durch Schutzwände voneinander getrennt; die Anschlüsse für Drähte, Kabel und Schienen erfolgen durch große Löcher in der Mauer mit Hilfe von Klemmbacken, in der Durchführung sind Glasrohre über die Drähte geschoben. Um die Sammelschienen herum sind Stromwandler montiert.

Für die Zentralenbeleuchtung ist ein besonderer Dreiphasentransformator vorgesehen, außerdem eine Akkumulatorenbatterie zur Reserve für Licht und Kraft. Die Leitung zwischen Zentrale und Venedig (ca. 90 km) besteht aus vier Gruppen von je 3 Drähten von 53 mm² Querschnitt. Diese 12 Drähte werden in sechseckartiger Anordnung auf Doppelmasten montiert.

Die Alternatoren arbeiten auf ein Ringsammelschienensystem, von welchem die Transformatoren Strom erhalten. Diese sind in fünf Dreiphasengruppen von je drei Transformatoren eingeteilt, d. h. eine Gruppe für jede Leitung und eine fünfte als Reserve. Zwei Sammelapparatgruppen und eine Serie Unterbrecher, welche an den Sammelschienen angeordnet sind, sowie eine Zwischenverbindung der Ringe ermöglichen sowohl, alle 4000 Volt-Apparate von einem bestimmten Alternator oder einer Transformatorgruppe außer Spannung zu setzen, als auch die Alternatoren in Gruppen zu unterteilen und dieselben separat auf die betreffenden Transformatorengruppen und Leitungen arbeiten zu lassen. In den Ableitungen, welche von den Sammelschienen zu jedem Alternator oder jeder Transformatorengruppe gehen, sind dreipolige automatische Ausschalter angeordnet. Ebenfalls automatisch sind die Ausschalter für 36000 Volt der abgehenden Leitungen.

Eine Reihe von Handausschaltern für 36000 Volt ermöglicht die Reservetransformatorengruppe mit irgend einer abgehenden Leitung zu verbinden, wenn einer der Transformatoren außer Tätigkeit gesetzt werden soll, oder die vier Leitungen unter sich parallel zu schalten sind.

Für jeden Transformator sind sowohl auf der Primär- als auch auf der Sekundärseite Unterbrecher vorgesehen. Diese sind zur größeren Sicherheit für die Angestellten, welche event. Arbeiten an den Transformatoren vornehmen müssen, an der Wand hinter einem jeden Transformator angebracht.

Von den 4000 Volt-Sammelschienen gehen zwei spezielle Ableitungen ab, von denen die eine zu Versuchszwecken dient, während die andere für die Speisung des Synchronmotors von 200 PS und für die abgehenden Leitungen zu 4000 Volt, welche elektrische Energie in die Umgebung der Zentrale liefern, bestimmt ist.

Der Alternator von 200 PS kann entweder als Synchronmotor zum Betrieb der Erregermaschine, z. B. bei einem Defekt an der Turbine oder als Generator zur Speisung des Lichtstromkreises in der Zentrale und der abgehenden 4000 Voltleitung verwendet werden.

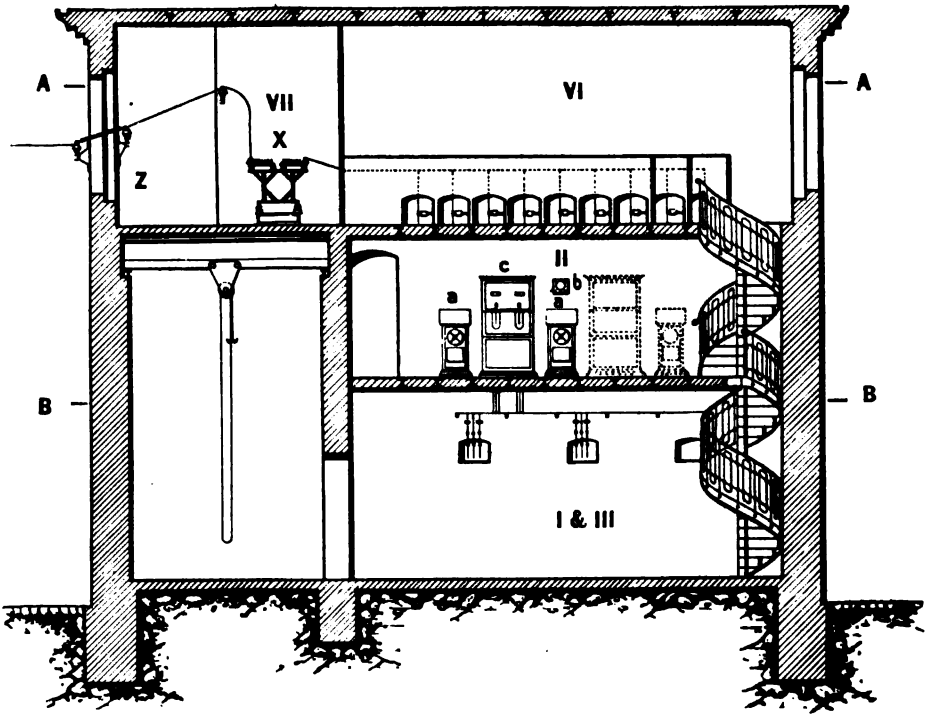
Allgemeine Anordnung der Schalttafeln und Apparate (Fig. 158 bis 160).

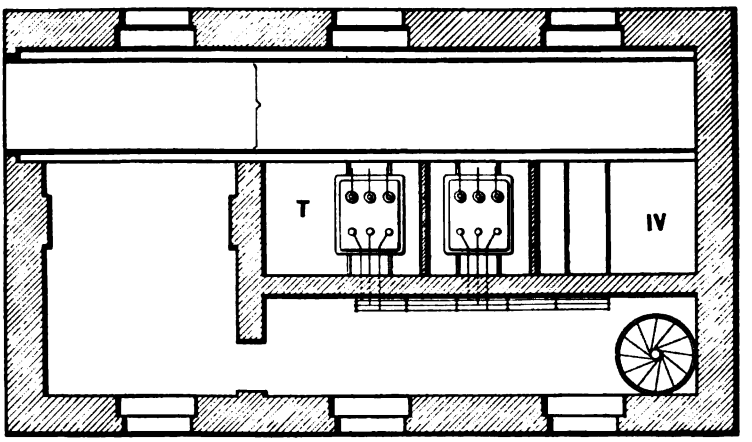
A = Podium der Niederspannungsschalttafeln[1]). — Auf diesem befinden sich alle Meß- und Phaseninstrumente, welche von kleinen Transformatoren, die in anderen Lokalen plaziert sind, gespeist werden, und die Hebel für die Fernantriebe aller Ausschalter und Widerstände. Die Alternatoren, Erregermaschinen, Transformatoren und Leitungen werden nur von diesem Podium aus bedient, wo man ebenfalls das

[1]) Die Buchstaben sind in Fig. 158 bis 160 eingeschrieben.

Digitized by Google

Funktionieren der verschiedenen Stromkreise kontrollieren kann und wo keine Hochspannungsapparate existieren.





B–B

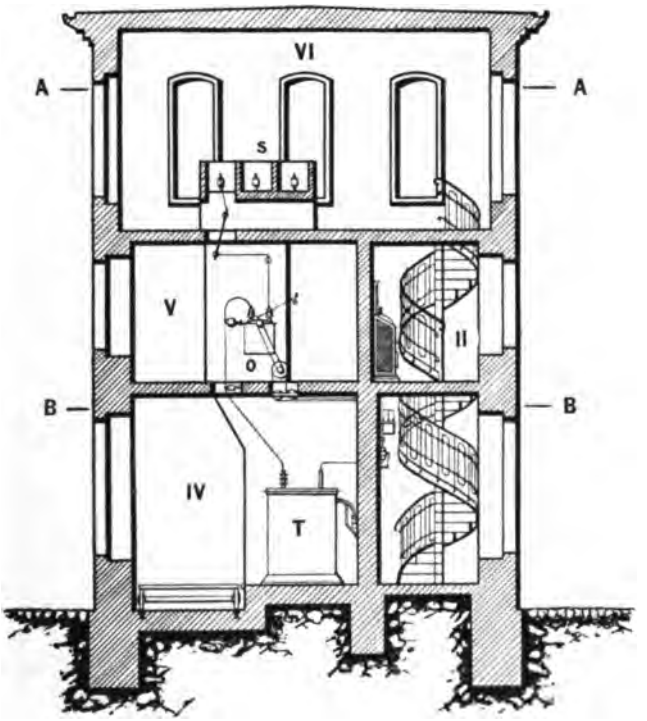
Fig. 163. Crespi & Co., Mailand (von Brown, Boveri & Co.).

a ist der Schalttisch für die Erregermaschinen und Alternatoren,

b ist die Schalttafel, welche die Meßinstrumente und die Relais für die automatischen Ausschalter der Alternatoren und die Sammelinstrumente trägt,

Digitized by Google

c ist die Schalttafel mit den Meßinstrumenten, den Relais und den Hebeln für die automatischen Ausschalter der Transformatorenprimärstromkreise (4000 Volt),



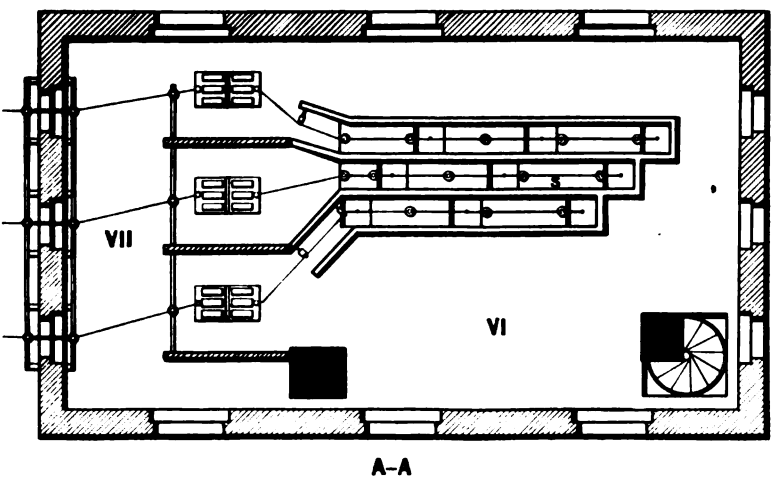


Fig. 163. Crespi & Co., Mailand (von Brown, Boveri & Co.).

d ist die Schalttafel mit den Meßinstrumenten, den Relais und Hebeln der automatischen Ausschalter für die sekundären Stromkreise der Transformatoren und abgehenden Leitungen,

Digitized by Google

e ist die Niederspannungsschalttafel für den Erregeralternator von 130 KW.

B und C: Unmittelbar unter dem Schalttisch befinden sich zwei nebeneinander liegende Lokale, das eine für die Widerstände und die Erregerausschalter und das

Fig. 164. Crespi & Co., Mailand (von Brown, Boveri & Co.).

andere für die 4000 Voltapparate der Alternatoren. Diese Apparate sind in so viel verschiedenen Zellen plaziert, als Alternatoren vorhanden, und durch Betonwände voneinander getrennt.

Digitized by Google

D: Ringsammelschienen zu 4000 Volt.

E: Apparate zu 4000 Volt für die Transformatorenprimärstromkreise; unter der Schalttafel c in Zellen angebracht.

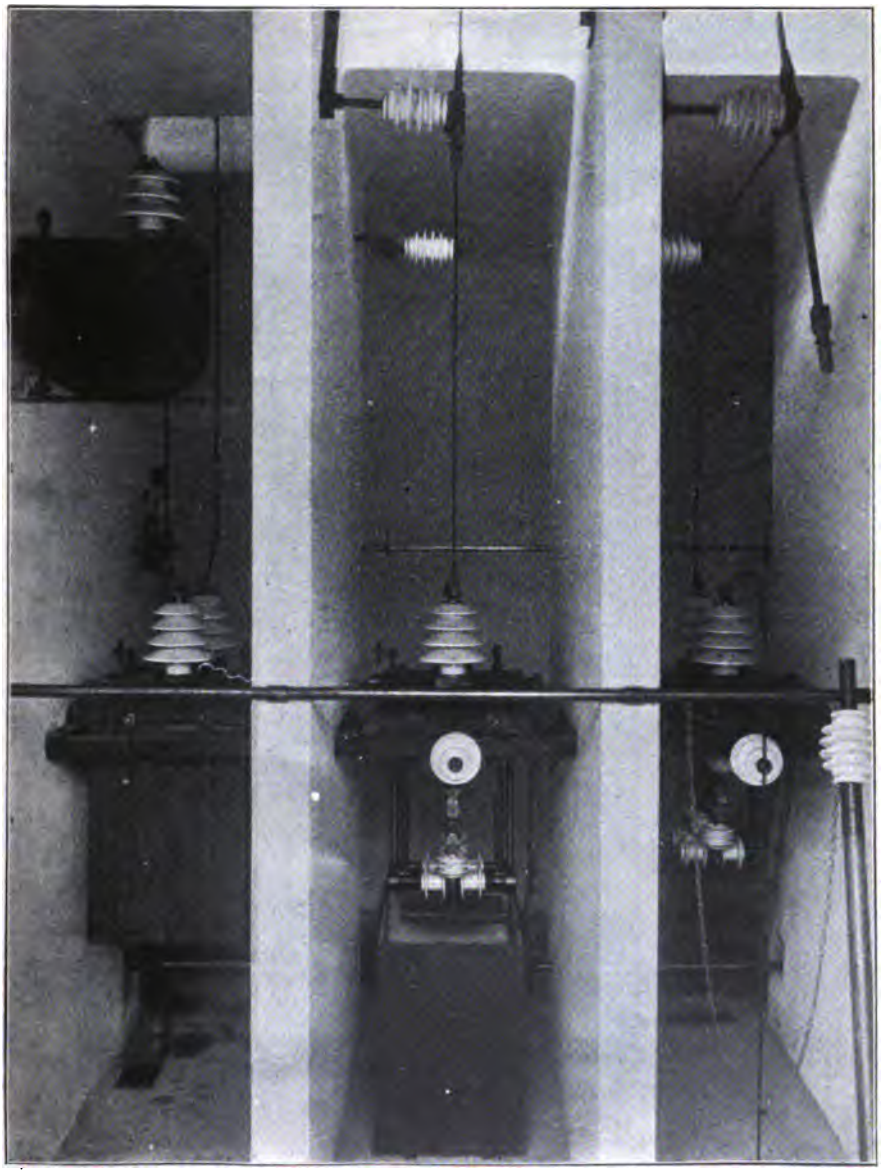


Fig. 165. Brown, Boveri & Co.

F: Apparate zu 4000 Volt für den 130 KW-Alternator.

Die Leitungen, welche von den Alternatoren abgehen, durchlaufen den Kanal G und gelangen zu den Zellen C, von da gehen sie zu den Sammelschienen D. Von

Digitized by Google

diesen zweigen die Leitungen für die Transformatoren ab, die zuerst in die Zelle E gehen, um alsdann in einen Korridor hinunter zu steigen, der sie in den Transformatorensaal H führt. In diesem sind die Transformatoren längs drei Wänden angeordnet und die verschiedenen Dreiphasengruppen durch Scheidewände voneinander

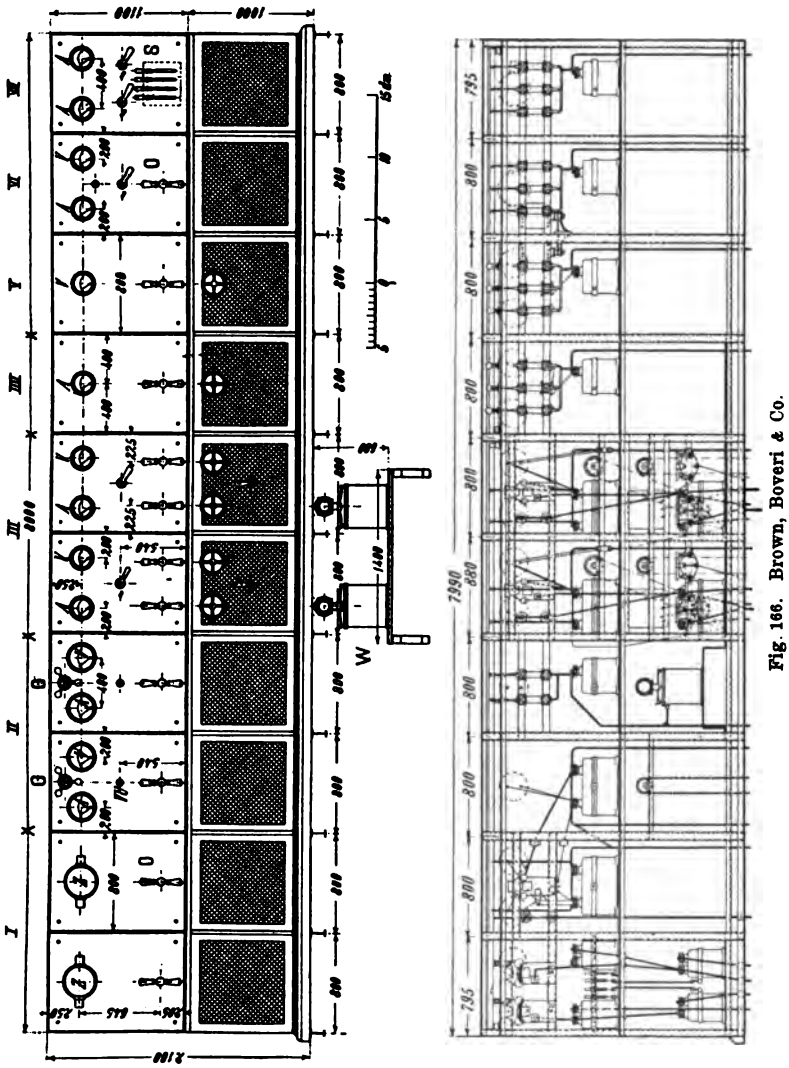


Fig. 166. Brown, Boveri & Co.

getrennt. Der Saal ist von zwei übereinander liegenden Korridors umgeben. Der untere ist für die Leitungen von 4000 Volt reserviert, während der höher gelegene für die Leitungen von 36000 Volt vorgesehen ist.

Die 36000 Volt-Leitungen, welche von den Transformatoren abgehen, führen in den Saal I:

I = Lokal der Ausschalter von 36000 Volt.

Digitized by Google

m sind die automatischen Leitungsausschalter; dieselben sind in verschiedenen Zellen mit den Stromtransformatoren für die Amperemeter angeordnet,

n sind die Handausschalter, die bereits oben erwähnt sind. Diese Ausschalter werden von der Schalttafel d aus gehandhabt.

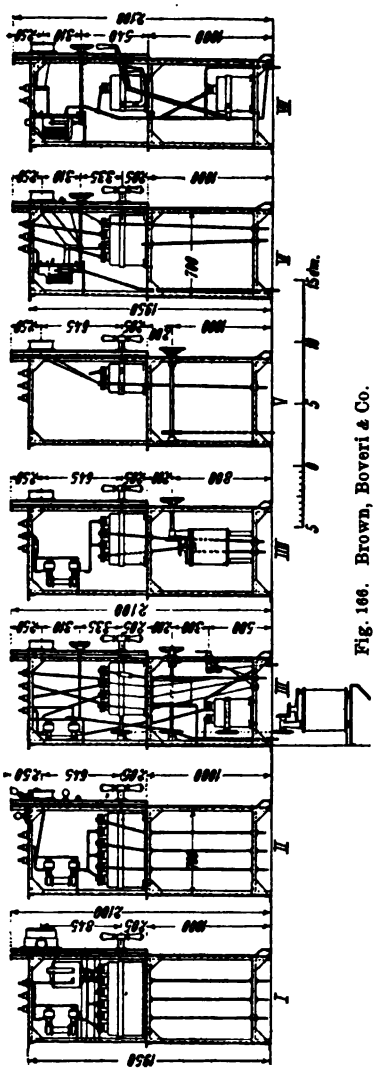


Fig. 166. Brown, Boveri & Co.

L = Lokal der Sammelschienen von 36000 Volt und der Spannungstransformatoren für die Generalvoltmeter und Erdschlußprüfer.

M = Blitzschutzapparatenlokal und Abzweigung der Leitungen. In dieses Lokal steigen die Leitungen, welche von den automatischen Ausschaltern m, die in dem unteren Saale angeordnet sind, abgehen.

Die Blitzschutzapparate bestehen aus einer Kombination von Blitzableitern Gola, Wurtz, sowie aus Hörnern und Wasserwiderständen.

Hinter dem Podium der Niederspannungsschalttafeln befinden sich drei Lokale mit:

o = Ausschalter für die Leitungen zu 4000 Volt,

p = Transformator für Licht und Kraft der Zentrale,

q = Niederspannungsschalttafel für die genannten Leitungen und den Transformator,

r = Niederspannungsschalttafel für Licht und Kraft in der Zentrale.

Von der Anlage Crespi & Co. in Mailand ist Raummangels halber nur die Sekundärstation in Nembro Fig. 163 zur Umformung der 40000 Volt Hochspannung in 500 Volt aufgenommen. Die Fernleitung tritt durch die Fensteröffnung Z ein und passiert zunächst die Blitzableiter H im Raum VII. Dann folgt der Anschluß an die hinter Schutzwänden liegenden Sammelschienen im Raum VI. Darunter liegen die Oelschalter im Raum V und davor ist der eigentliche Bedienungsraum angeordnet, der in Fig. 164 besonders dargestellt ist. In der Mitte steht ein Schaltkasten c für die Niederspannungskreise von 500 Volt mit Schaltern und Sicherungen, daneben je ein Pult a für die Hochspannung mit Oelschalter und Zeitrelais, sowie einem versenkten Amperemeter, darüber ist ein Sekundärvoltmeter b montiert. Zu ebener Erde in dem Hause Fig. 163 stehen die zwei Oeltransformatoren mit Wasserkühlung für je 500 KVA

Digitized by Google

Drehstrom und 38000/500 Volt. In der Primärstation zu dieser Anlage sind die Hochspannungsölschalter, jede Phase für sich, nach Fig. 165 in Zementzellen eingebaut, alle drei werden gemeinsam mittels Gallscher Kette von Hand oder durch ein Relais betätigt.

Fig. 167. Motorschalttafel von Brown, Boveri & Co.

Die Unterstation der Nebenbahn Wetzikon-Meilen zur Umformung von 25000 Volt Drehstrom[1]) in 750 Volt Gleichstrom mit Hilfe von statischen Transformatoren und rotierenden Einankerumformern hat die von Brown, Boveri & Co. gelieferte Schalttafel Fig. 166, und zwar gilt folgende Erklärung:

I = Transformatorenfelder,
II = Drehstromniederspannungsfelder,
III = Gleichstromfelder,
IIII = Gleichstrommotorenfeld,
V = Zusatzgruppenfeld,
VI = Batteriefeld,
VII = Speiseleitungenfeld.

Z = Zähler,
A = Amperemeter,
V = Voltmeter,
VU = Voltmeterumschalter,
G = Synchronisierlampen,
O = Oelschalter,
S = Speiserschalter,
W = Regulierwiderstände.

Durchweg sind Oelschalter verwendet. Die Felder II und III sind für die Drehstrom- und Gleichstromseite der Umformer bestimmt, IV und V für das Zusatzaggregat.

[1]) Der oben erwähnten Zentrale Beznau; Fig. 166 ist dem Werke „Die elektrischen Anlagen der Schweiz" von Siegfr. Herzog entnommen.

Digitized by Google

Schnitt J - K

Digitized by Google

Digitized by Google

Für Drehstrommotoren bis 5000 Volt haben Brown, Boveri & Co. die mit perforiertem Blech abgeschlossene Schalttafel Fig. 167 entwickelt; unten sitzen Röhrensicherungen mit Auspufftrichtern, darüber ein Oelschalter und ein Amperemeter.

Auch die Maschinenfabrik Oerlikon hat in neuerer Zeit eine größere Anzahl sehr beachtenswerter Hochspannungsschaltanlagen ausgeführt, denen das Zellensystem zu Grunde liegt, welches jeden Pol und jeden Apparat für sich isoliert. Für die Schaltung und Bedienung der Generatoren verwendet diese Firma meist sehr übersichtliche Schaltsäulen, an denen oben die Meßinstrumente und auf Handhöhe Steuerhebel und Handräder zur Betätigung der Oel- oder Röhrenschalter und der Regulierwiderstände angebracht sind. Die verschiedenen Schaltbewegungen sind gegeneinander in geeigneter Weise verriegelt, z. B. kann der Hauptschalter nicht vor dem Erregerschalter geschlossen werden.

Die Schaltanlage der Stadt Bern (Dampfzentrale Marzili) ist nach Tafel VII u. VIII von der Maschinenfabrik Oerlikon erstellt worden. Das Kraftnetz wird dreiphasig mit 3700 Volt und das Lichtnetz einphasig mit 3400 Volt gespeist, für jedes Netz ist eine Ringleitung vorhanden, woraus sich die 2mal (3 + 2) Sammelschienen in Tafel VII erklären. Die Anlage besitzt zwei Turbogeneratoren und wird im übrigen von einer Ueberlandzentrale, dem Kanderwerk, versorgt. Für die Generatoren und die Stromzuführung vom Kanderwerk sind Schaltsäulen A (Tafel VIII) vorhanden, für die Verteilung dagegen eine Flachtafel, links für Licht, rechts für Kraft, in der Mitte ein Sammelfeld. Für die städtischen Verteilungsleitungen liegen die Sammelschienen, die Oelschalter, deren Ausschalterelais auf der Verteilungstafel sitzen, ferner die Sicherungen und Stromwandler sowie die Schutzapparate gegen Blitz und Ueberspannungen in der unteren Etage zu ebener Erde, während darüber die Hochspannungsapparate und Regulierwiderstände der Generatoren und der Zuleitung vom Kanderwerk untergebracht sind. Ueber diesem Raum befindet sich dann schließlich die eigentliche Bedienungsschaltanlage. An jeder Schaltsäule sitzen: 1 Ampere- und 1 Voltmeter, 2 Handgriffe für 2 Oelschalter, mit deren Hilfe auf eines der beiden Sammelschienensysteme geschaltet wird, dann 2 Handräder zur Bedienung der 2 Feldregulierwiderstände. Die Verrieglung zwischen dem Generatorölschalter und dem Erregerwiderstand geschieht durch eine Uebersetzung mit Gallscher Kette. Auf einer Zentralsäule sind 2 Generalvoltmeter (Licht und Kraft), 1 Synchronisiervoltmeter und 1 statischer Erdschlußprüfer in leicht drehbarer Form untergebracht. Von dieser Säule aus können auch sämtliche Regulierwiderstände gemeinsam bedient werden, jeder einzelne Regulierwiderstand kann aber im Bedarfsfall abgekuppelt werden. Die Rückstromrelais mit

Digitized by Google

Zeitelement für die Generatoren sitzen unterhalb der Säulen; die Relais der Speiser sind auf Ueberstrom mit Zeitelement eingestellt. Der Aufbau der Schalttafel dürfte sich im übrigen am leichtesten an der Hand des Schemas Tafel IX klarstellen, zu dem folgende Erklärung gehört:

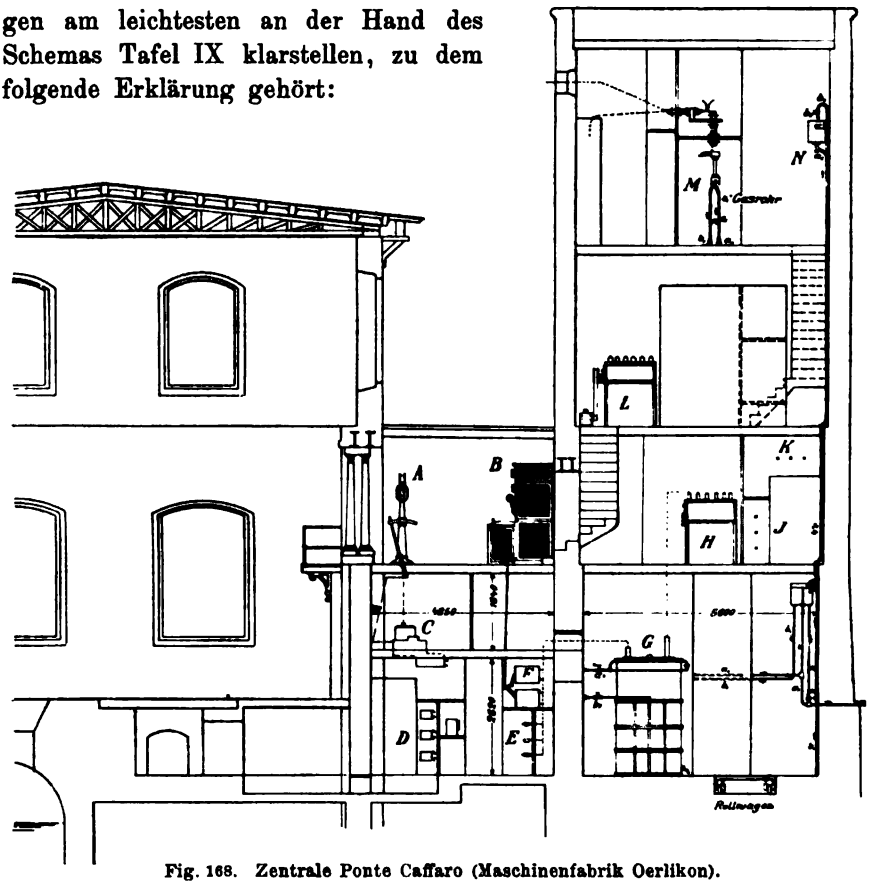
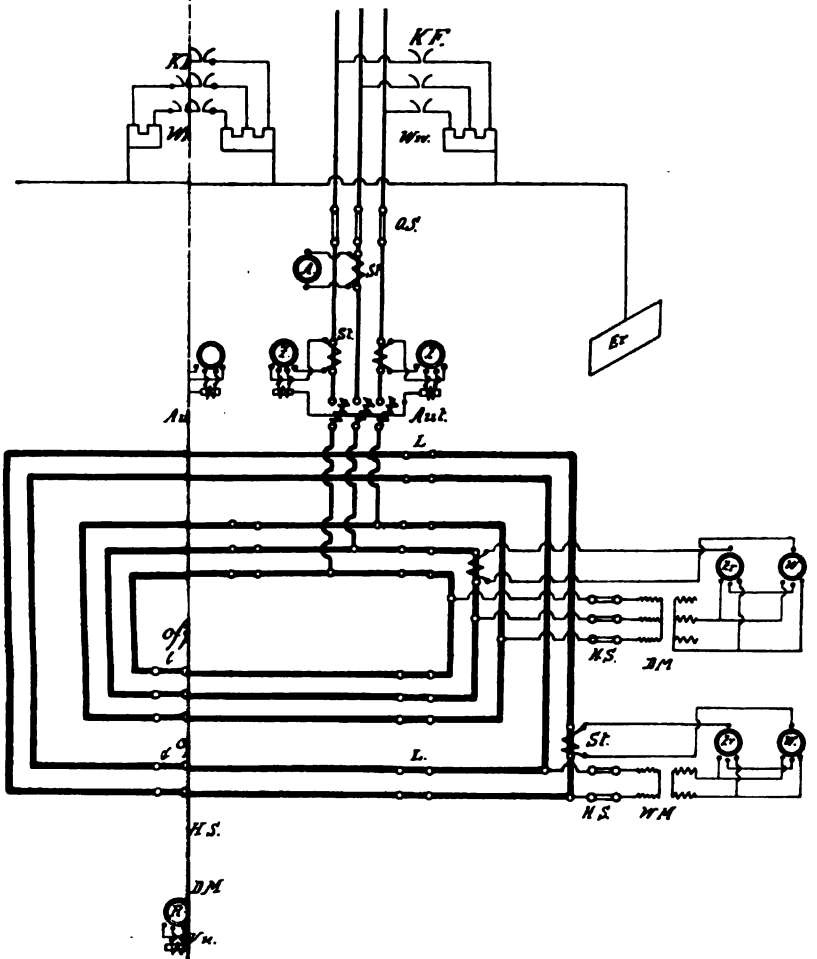


Fig. 168. Zentrale Ponte Caffaro (Maschinenfabrik Oerlikon).

DG	Drehstromgenerator,	St	Stromwandler,
E	Erregermaschine,	WM	Wechselstrommeßtransformator,
EW	Erregerwiderstand,	DM	Drehstrommeßtransformator,
NW	Nebenschlußwiderstand,	PL	Phasenlampe mit Ausschalter,
A	Amperemeter,	HS	Hochspannungssicherung,
W	Wattmeter,	OS	Oelsicherung,
Zr	Zähler,	Aut	Automatischer Oelschalter,
V	Voltmeter,	Z	Zeitrelais,
Stv	Statisches Voltmeter (Erdschluß),	R	Rückstromrelais mit Zeiteinteilung,
Vp	Phasenvoltmeter,	KE	Kabelfunkenstrecke,
VuH	Voltmeterumschalter f. Hochsp.,	Ww	Wasserwiderstand,
Vu	„ „ Niedersp.,	Er	Erdplatte.

Bezüglich der Leitungen an der Schaltanlage gelten folgende Bestimmungen:

Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

Sammelschienen: Kupferschienen 50 × 6 mm auf Isolatoren.

Verbindungsleitungen zwischen Kabelkasten-Oelschalter-Sammelschienen: Kupferschienen 33 × 3 mm auf Isolatoren.

Verbindungsleitungen für die Funkenstrecken: 3 mm Kupferdraht blank.

Verbindungsleitungen für die Isolationsprüfvorrichtung und Meßtransformatoren primär: 3 mm isolierter Kupferdraht, auf Isolatoren.

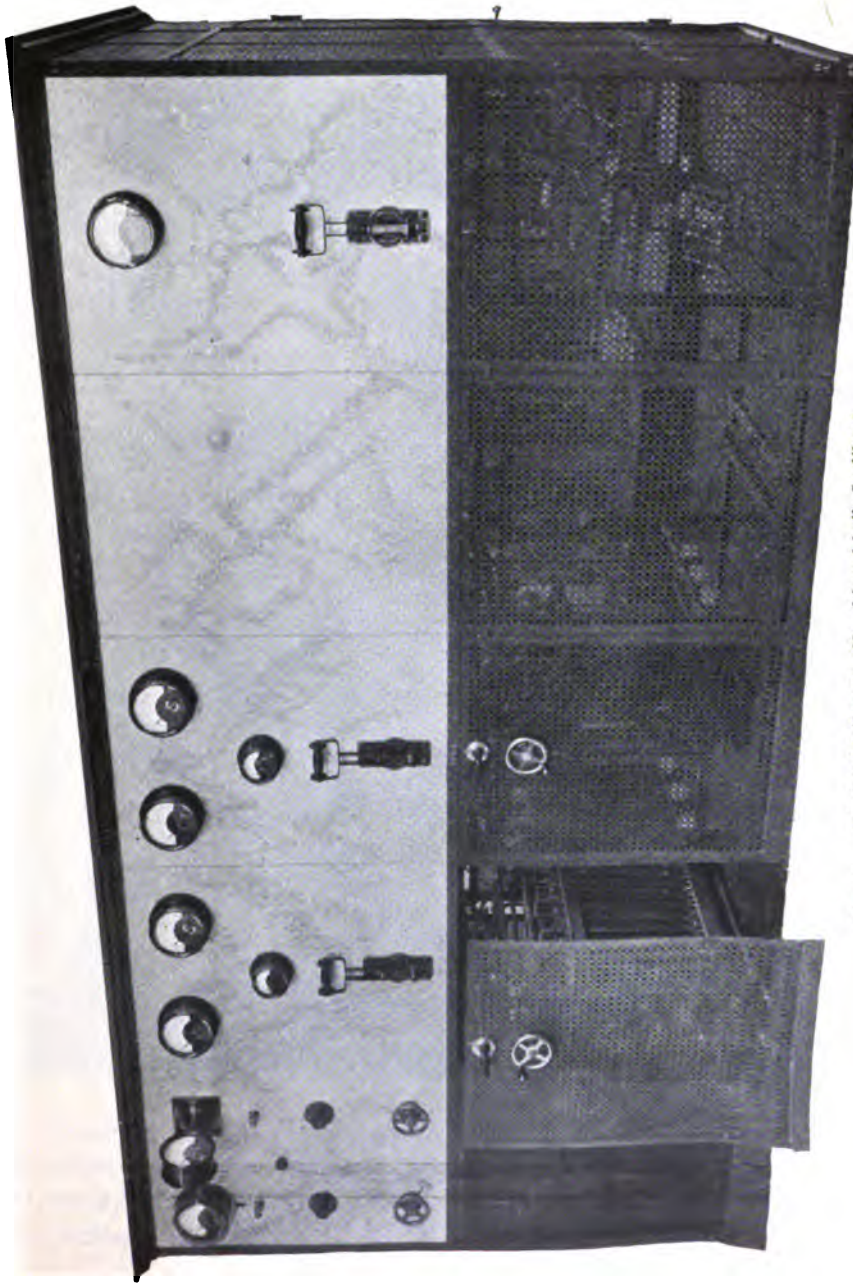


Fig. 169. Schalttafel Bergün (Maschinenfabrik Oerlikon).

Digitized by Google

Verbindungsleitungen für die Meßtransformatoren und Stromwandler sekundär sowie für Relais und Meßinstrumente: 3 mm isolierter Kupferdraht, in Isolierröhren von 16 mm innerem Durchmesser.

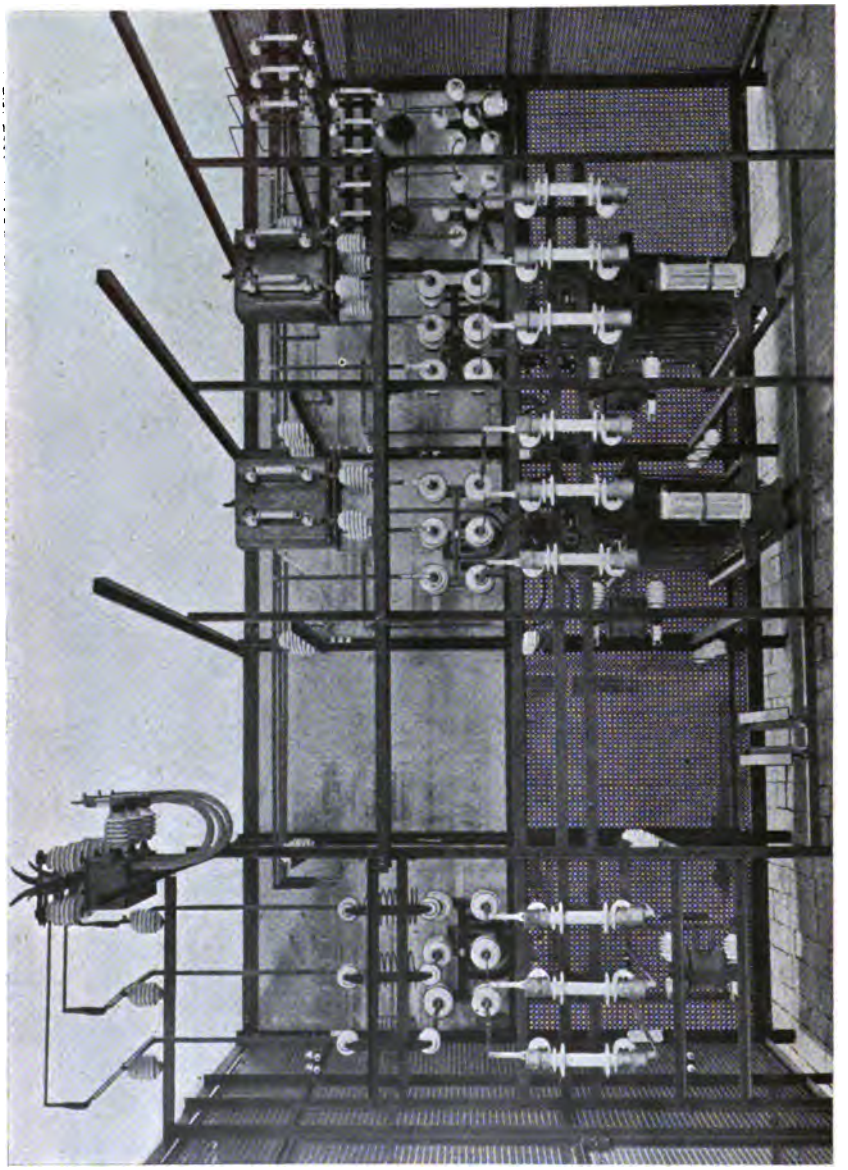


Fig. 170. Schalttafel Bergün (Maschinenfabrik Oerlikon).

Die von Oerlikon gebaute Anlage Ponte Caffaro in Italien ist, was Leistung und Höhe der Spannung anlangt, besonders beachtenswert. Das zugehörige Schalthaus zeigt Fig. 168: A sind wieder die schon besprochenen Generatorschaltsäulen, B die Flachtafel zum Anschluß der

Digitized by Google

Transformatoren G an die Sammelschienen E vermittels der Oelschalter F, sowie zur Schaltung und Verteilung der gesamten Hochspannung. Im Raum C sind die Generatorölschalter und die Regulierwiderstände, in D die Meßtransformatoren und Sicherungen untergebracht. Von der Hochspannungsseite der Transformatoren G passiert der Strom durch die Oel-

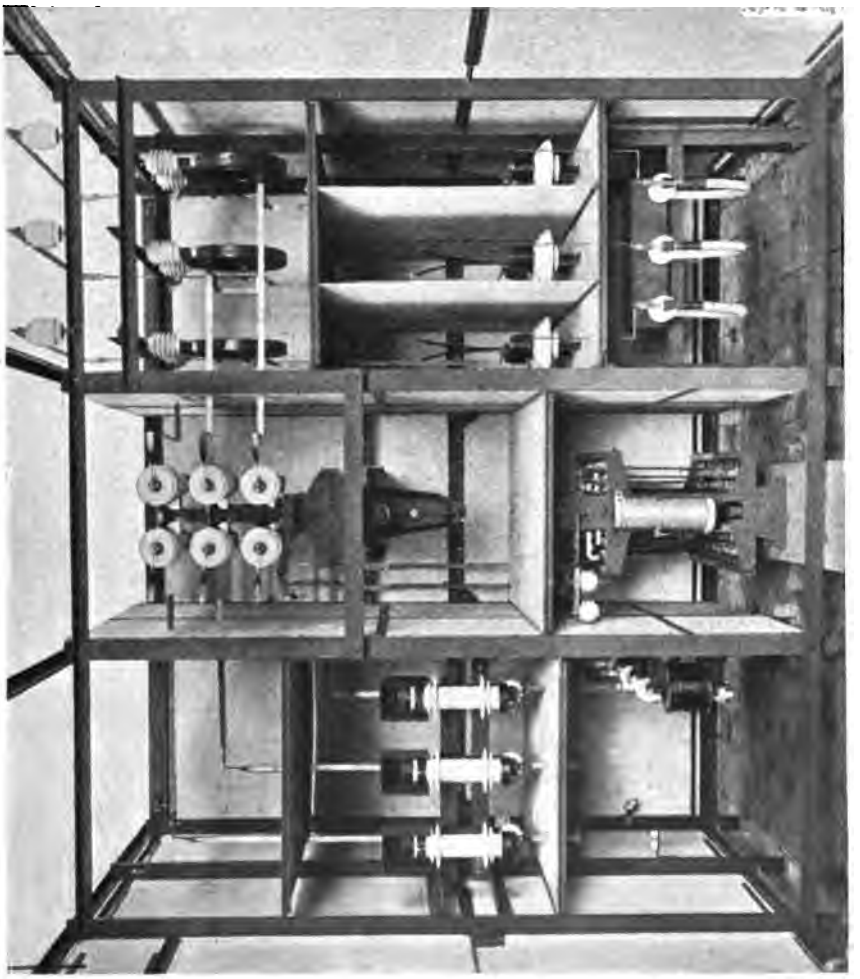


Fig. 171. Honegger & Co., Wald-Zürich (Maschinenfabrik Oerlikon).

schalter H zu den Hochspannungsschienen J und K. Von diesen wird der Strom durch die motorbetriebenen Schalter L in die Fernleitung geschickt. Vor der Ausführung sitzen noch die Hörnerblitzschutzapparate M mit Wasserwiderständen. Daneben sitzt auch noch ein Satz Rollenblitzableiter. In der Skizze ist überdies das Rohrnetz für die Wasserkühlung der Transformatoren und für die Wasserwiderstände eingezeichnet.

Digitized by Google

Diese Anlage Ponte Caffaro, welche die Provinz Brescia in Italien mit elektrischer Energie versorgen soll, erhält in ihrem ersten Ausbau drei Drehstrom-

Fig. 172. Schalttafel St.-Imier (Maschinenfabrik Oerlikon). Links Speiser, rechts Generatoren.

generatoren für 2750 KVA bei 9000 bis 10500 Volt, 150 Ampere, 42 Perioden und einer minutlichen Umdrehungszahl von 315. Für die Erregung sind zwei Gleichstrommaschinen mit eigenem Turbinenantrieb vorgesehen, deren jede die drei Haupt-

Digitized by Google

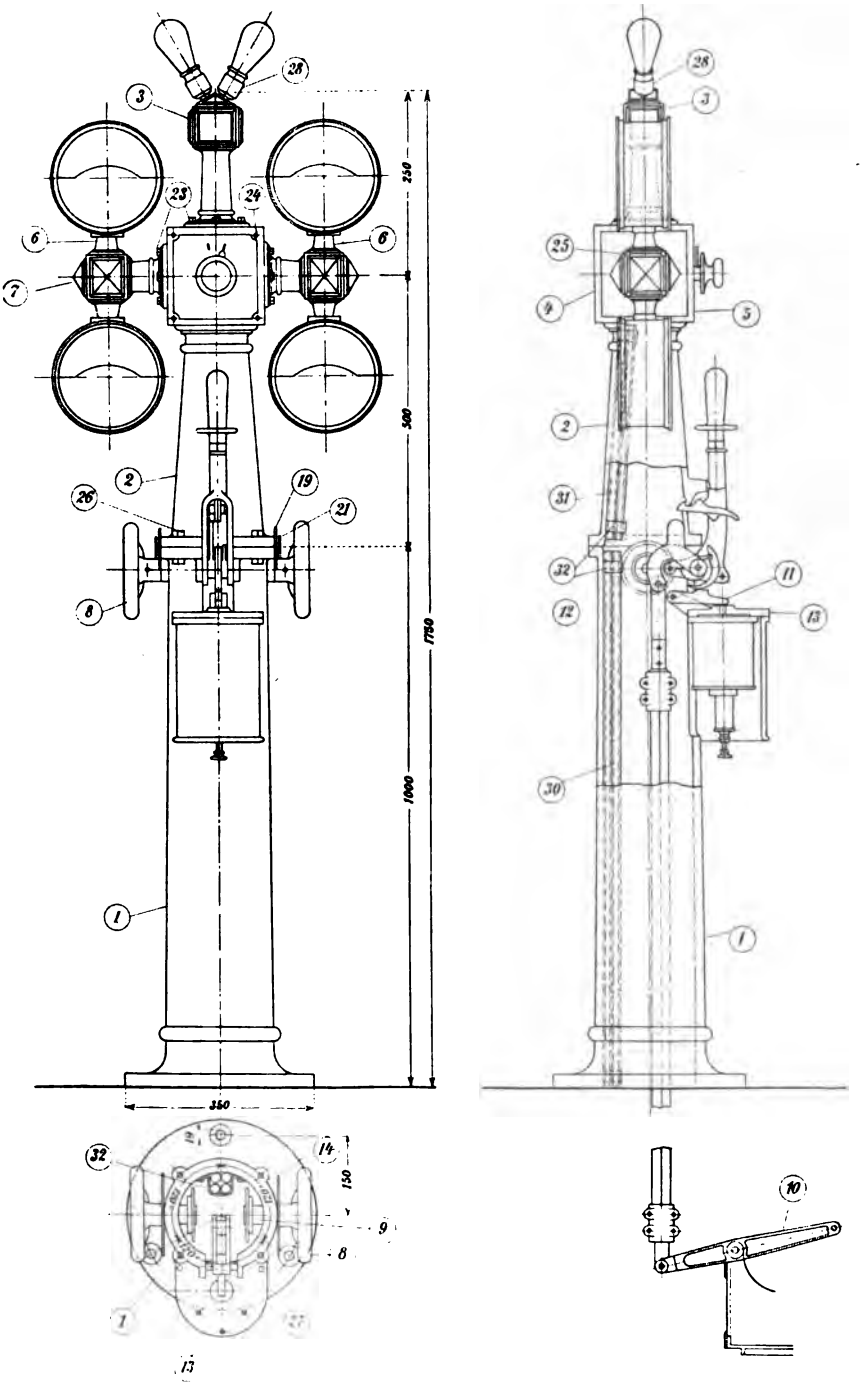


Fig. 173. Schaltsäule der E.-G. Alioth.

Digitized by Google

maschinen allein versorgen kann. Jede der sechspoligen Maschinen leistet 800 Ampere bei 125 Volt. Die Erhöhung der Maschinenspannung für die Fernleitung auf 40000 Volt erfolgt durch drei wassergekühlte Transformatoren für je 2750 KVA.

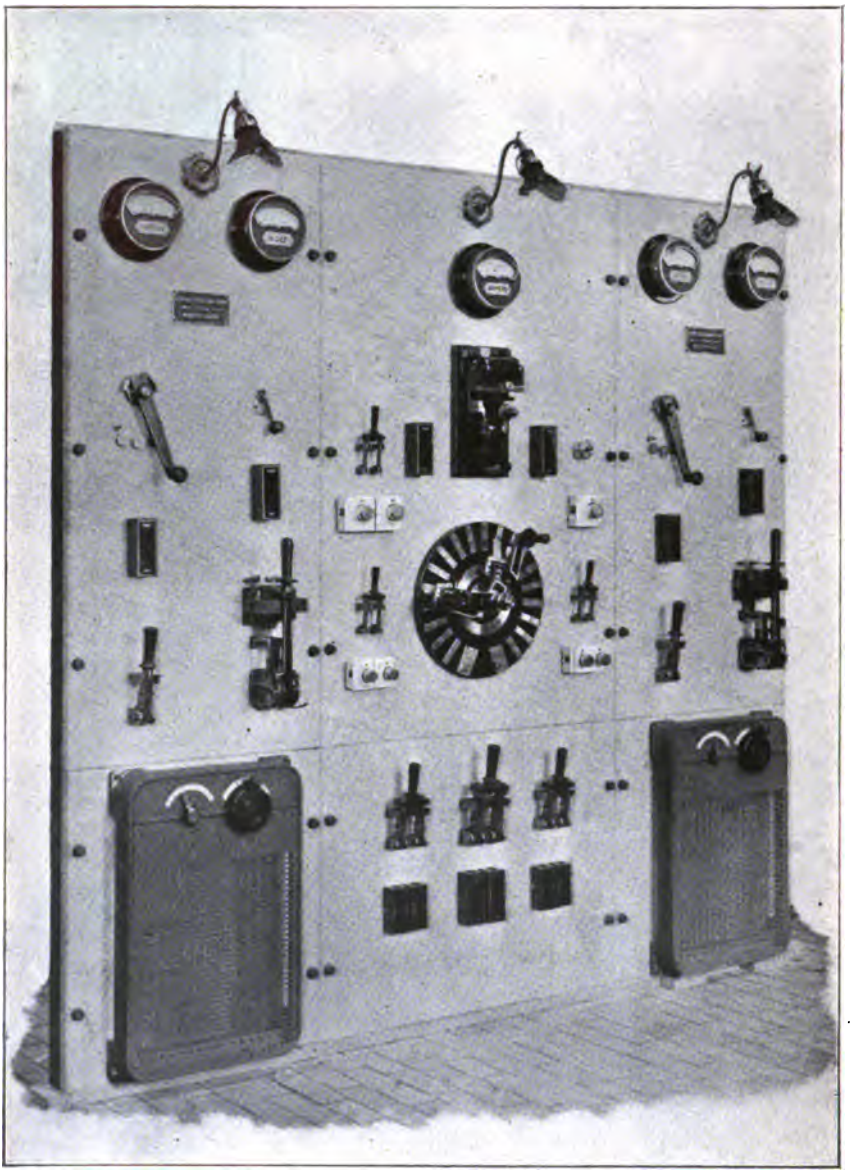


Fig. 174. E.-G. Alioth.

In Fig. 169 bis 172 sind noch in recht anschaulicher Weise Ansichten ausgeführter Hochspannungsschalttafeln der Maschinenfabrik Oerlikon dargestellt. Die Feldwiderstände der Fig. 169 sind auf

Digitized by Google

Winkeleisen ausziehbar[1]) (Fig. 170); links oben in Fig. 170 sitzt eine Ueberspannungssicherung mit Wasserwiderstand, rechts oben sind die Spannungstransformatoren mit Sicherungen; für die Hochspannung sind

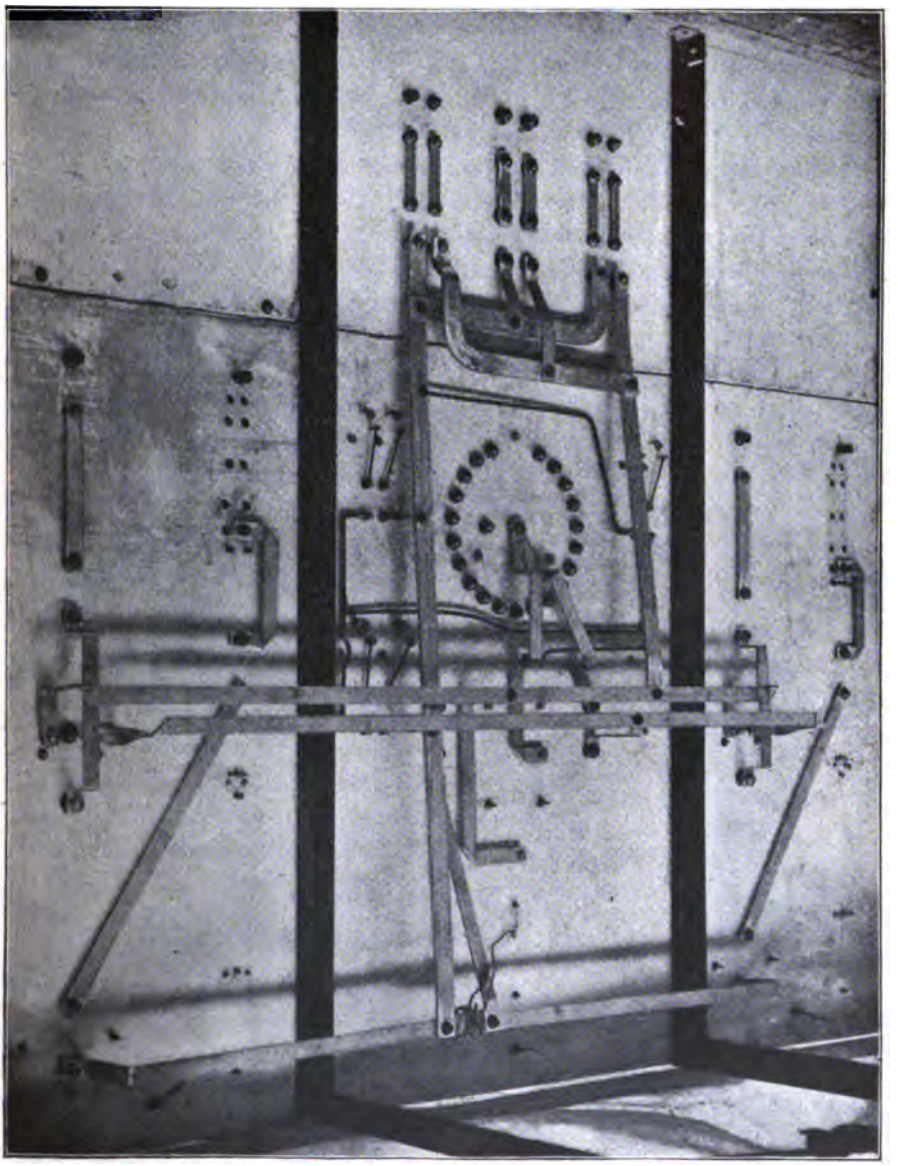


Fig. 175. E.-G. Alioth.

[1]) In der Münchener Zentrale „Muffatwerk" kann der mittlere Teil der Schalttafel auf Schienen aus der Maschinenhalle herausgefahren werden (Z. V. D. I. 1905, 4. Februar).

Digitized by Google

Röhrenschalter vorgesehen. In Fig. 170 sind die Blitzschützer mit Drosselspulen und Wasserwiderständen, ferner der Röhrenschalter, der Feldregler und die Sicherungen je in isolierten Zellen untergebracht.

Die von Alioth gebaute Zentrale Hauterive ist bereits auf S. 72 beschrieben. Die Tafel X zeigt die Schaltanlage der E.-G. Alioth für eine Umformerstation der Stadt Bern. Die Schaltsäule gehört zu einem Synchronmotor von 400 PS 3000 Volt, die Flachtafel zur direkt gekuppelten Gleichstrommaschiene für 270 KW 600 Volt. An der Schaltsäule sind montiert: 2 Synchronisierlampen (45), 4 Ampere- und Voltmeter (43), 1 Voltmeterumschalter (46), der Hebel h für den Oelschalter (47) mit dem Auslösemagneten m, 2 Handräder i für die Feldwiderstände; die Leitungen innerhalb der Säule liegen in Bergmannrohren. Im Detail ist die Säule noch günstiger aus Fig. 173 zu ersehen.

Die Schnittzeichnung Tafel XI entspricht einer Umformerschalttafel der Stadt Basel, und zwar gehört das gezeichnete Feld zu einer Gleichstrommaschine von 500 KW 500 Volt. Die Apparate des Drehstrommotors sind auf einer Säule nach Fig. 173 untergebracht. Die Feldrheostate des Motors und des Generators können sowohl von der Flachtafel als von der Säule aus betätigt werden.

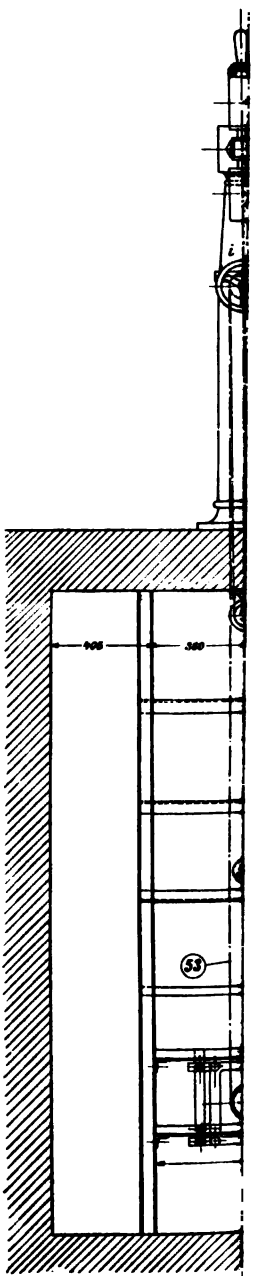
Schließlich ist in Fig. 174 u. 175 noch eine Gleichstromschaltanlage der E.-G. Alioth für das Schloß Sonnenberg-Carspach zur Darstellung gebracht. Es sind zwei Maschinen zu 30 KW (äußere Felder) und eine Batterie (Mittelfeld) aufgestellt. Auf dem Mittelfeld sind auch die Ausschalter und Sicherungen der Speiser montiert. Die großen Kurbeln auf den Außenfeldern dienen zum stromlosen Umschalten auf Betrieb mit und ohne Batterie, die kleinen Kurbeln sind Voltmeterumschalter.

Fig. 176. Schalttafel von A. Schneider.

8b. Zusätze zu Schalttafeln.

Die Apparatenbauanstalt Arthur Schneider, Leipzig-Stötteritz baut als Spezialität die Schaltsäule Fig. 176 für Gleichstromanlagen mit Akkumulatoren bis 400 Ampere und 110 Volt: Obenauf sitzen die Meßinstrumente (zwei Stromzeiger, ein Spannungszeiger), dann kommen: ein Spannungsumschalter, die Griffe für den Nebenschlußregler, der Lade- und Entladehebel für den Zellenschalter, der Hauptschalter mit Druckknopf, ein Hebel zum Anlassen mit Hilfe der Batterie, ein Rückstrom- und

Digitized by Google



Niethammer, Elektr

Digitized by Google

Digitized by Google

ein Fernausschalter. Ein Schutzgehäuse umschließt sämtliche stromführenden Teile, es ermöglicht nach Lösen einiger Befestigungsschrauben und Abheben der oberen Kappe bequeme Zugänglichkeit zu allen Kontakten. Die Anwendung von Kontaktstufen mit Oelbad und Kohlenunterbrecher schließt das Auftreten von schädlichen Funken aus. Die einzelnen Stellungen der Hebel sind durch Marken und teilweise noch mit tiefen Rolltasten unverkennbar festgelegt. Die erforderlichen Nebenschluß- und Anlaßwiderstände sind in Paketform in dem Apparat enthalten. Die Leitungszuführung erfolgt mittels Bleikabel durch den unteren Säulenfuß; ein gußeiserner Kabelkasten, auf dem die Säule verschraubt ist, dient zur bequemen Weiterführung der Kabel im Boden des Maschinenraumes.

Weitere Schaltanlagen finden sich beschrieben in dem beachtenswerten Werke „Electricity control" von Leonard Andrews, dann in der Zeitschr. des österr. Ingenieur- u. Arch.-Vereins 1904, Nr. 44 u. 45, „Amerikanische Schaltanlagen" von Dr. A. Hruschka und schließlich Z. f. E., Wien 1905, Heft 6 u. 7.

Besser noch als Schiefer und Marmor dürfte sich Opalin für Hochspannungsschalttafeln eignen; sein Isolationswiderstand, seine Oberflächenisolation und seine Durchschlagsspannung sind bei gleichen Abmessungen wesentlich höher als bei Marmor und Schiefer. Opalin ist nicht hygroskopisch, kann gebohrt und beliebig geformt werden.

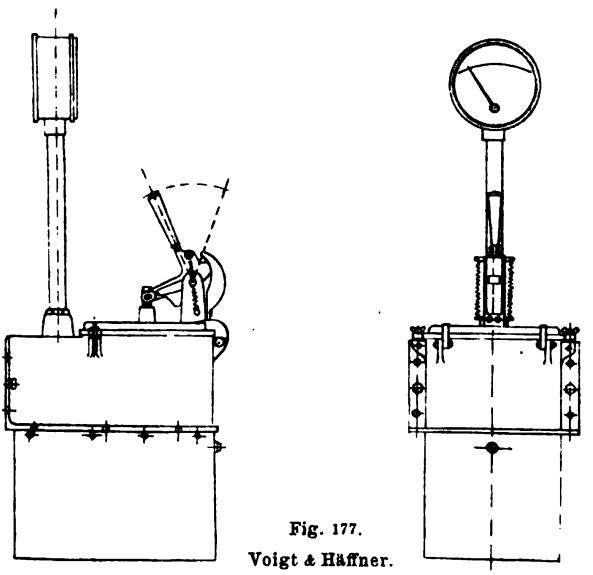


Fig. 177.
Voigt & Häffner.

Die Motorschalttafel Fig. 177 von Voigt & Häffner enthält ein Amperemeter auf einer Säule und einen Kasten für den Oelschalter.

Digitized by Google

II. Schalter.

9. Allgemeines und Einteilung der Schalter.

Eine der allerwichtigsten Aufgaben in modernen Hochspannungskraftübertragungsanlagen mit 5000 bis 60 000 Volt[1]) und großen Energiemengen von 1000 bis 20 000 KW pro Einheit (Generator- oder Speiseleitungseinheit) ist die einwandsfreie Konstruktion der Schalter. Die absolute Betriebssicherheit der Hochspannungsschalter bei allen möglichen Erscheinungen, die eine lange Kraftübertragung oder eine ausgedehnte elektrische Kraftverteilung mit sich bringt, d. h. bei Kurzschlüssen, bei Ueberlastung, bei Außertrittfallen von Generatoren oder Motoren und ähnlichem ist mindestens von derselben Bedeutung wie der solide Bau der Generatoren und Motoren. Die schwierige Aufgabe des Schalterbaues ist überdies dadurch gewachsen, daß man in den letzten Jahren nicht allein in Amerika, sondern auch in Europa von den üblichen Maximalspannungen von 5000 bis 6000 Volt auf 20000, 40 000, ja 60000 Volt übergegangen ist. Ferner hat man neuerdings die Schmelzsicherung wegen ihrer Unsicherheit bei der Unterbrechung hochgespannter Stromkreise fast ganz aufgegeben und dem Schalter die ganze Verantwortung überwiesen. Ja, man hat überdies seine Obliegenheiten durch Anbringung von Hilfsvorrichtungen aller Art noch vermehrt, die bei Ueberlast oder Stromumkehr den Schalter automatisch betätigen. Der Umweg, alle Schaltvorrichtungen in Niederspannungskreise zu legen und die Hochspannung gar nicht zu unterbrechen, ist praktisch ganz unhaltbar, da man sich damit der notwendigen direkten Beeinflussung der gefährlichen Hochspannungskreise völlig begibt. In der Tat wird heutzutage auch immer allgemeiner verlangt, daß gerade in der Hochspannung, also hinter den Transformatoren und nicht in den niedergespannten Generator- und Verbrauchskreisen die Hauptschalter liegen, wenn man auch die Meßvorrichtungen in den Niederspannungskreisen beläßt.

[1]) Amerikanische Firmen offerieren jetzt Oelschalter bis 100000 Volt.

Digitized by Google

Die Schalter dienen entweder zur Unterbrechung des Stroms unter allen Betriebsverhältnissen oder aber nur zur Durchleitung des Stroms. Im letzten Fall werden sie nur strom- und spannungslos geschlossen und geöffnet. Das trifft z. B. bei Schaltern für sehr große Stromstärken in elektrolytischen Anlagen zu. Dann ist der Schalter nur mit Rücksicht auf Erwärmung, die jedenfalls kleiner als 50 Grad sein muß, nicht aber mit Rücksicht auf funkenfreie Unterbrechung zu entwerfen. Die Regel sind jedoch die eigentlichen Stromunterbrecher, von denen folgende Konstruktionen zu unterscheiden sind:

1. Luftschalter (air break switches),
   a) Drehschalter (meist Dosenschalter),
   b) Hebelschalter mit Messer- oder Druckkontakten,
   c) Steckkontakte, häufig nur zum stromlosen Unterbrechen,
   d) Hörnerschalter,
   e) Rollenschalter,
   f) Röhrenschalter (Vakuumschalter),
2. Oelschalter (oil switches, oil break switches),
3. Quecksilberschalter,
4. Wasserschalter.

Von diesen haben nur die Hebelschalter mit Luftunterbrechung für niedrige und mäßige Spannungen, sowie die Oelschalter für Hochspannung allgemeine Verbreitung gefunden. Auch der Röhrenschalter mit Luftunterbrechung hat sich dauernd bewährt.

Die verschiedenen Arten von Schaltern werden wohl auch kombiniert; man kann z. B. Hebel- und Röhrenschalter als Oeltype ausführen. Bei allen findet man meist das Prinzip der mehrfachen Unterbrechung benützt, d. h. man schaltet gleichzeitig an zwei oder mehreren Stellen aus und ein.

Die Aufgabe eines Schalters, der unter vollem Strom geöffnet und geschlossen wird, ist es, diese Stromunterbrechung oder -schließung beliebig oft so auszuführen, daß kein dauernder Unterbrechungsfunke entsteht und die Schaltkontakte für die neuerliche Benützung immer tadellos im stande und nicht verschmort oder sonstwie angegriffen sind. Auch muß die Erwärmung aller Teile mäßig bleiben ($< 50^0$ C.) und es darf keine Gefahr für den Wärter bestehen, daß er durch elektrische Schläge oder abfliegende Teile beschädigt wird. Die Ursache des Unterbrechungsfunken ist die beim Unterbrechen eines Stroms auftretende Extraspannung, die der Größe der plötzlichen Stromänderung pro Zeiteinheit proportional ist. Bekanntlich sind Spannungen von 20 Volt aufwärts in der Lage, einen eingeleiteten Lichtbogen zu unterhalten, und zwar ist die mögliche Länge des Lichtbogens umso größer, je höher die Spannung zwischen den sich trennenden Schalterteilen ausfällt. Im

Digitized by Google

weiteren Verlauf der Unterbrechung tritt zu der Extraspannung noch ein mehr oder minder großer Teil der Netzspannung, die bei völliger Unterbrechung gewöhnlich in vollem Wert zwischen den offenen Kontakten herrscht. Außer durch den erwähnten Lichtbogen, der Temperaturen über 1500 Grad erzeugt, werden die Kontakte manchmal durch eine hohe Strombelastung einzelner Teile des Schalters im Augenblick des Ausschaltens zum Glühen gebracht und beschädigt. Es tritt dies dann ein, wenn durch kleine Schalterquerschnitte zeitweilig große Ströme fließen müssen. Für die Länge des Unterbrechungsfunkens kann man zwei Werte unterscheiden, nämlich diejenige, die überhaupt maximal bei Unterbrechung eines gewissen Stromes unter bestimmter Spannung momentan auftritt und diejenige, die bei gleichen Verhältnissen dauernd bestehen bleibt.

Beim Ab- und Zuschalten langer Leitungen, von Kabelnetzen und von Transformatoren, ferner bei gewissen abgestimmten Verhältnissen der Selbstinduktion und Kapazität im Stromkreis treten oft recht beträchtliche Spannungserhöhungen auf, welche die Schalter außerordentlich beanspruchen.

10. Niederspannungsschalter.

Für die Steckkontakte gelten die in Fig. 178 vom Verband deutscher Elektrotechniker festgelegten Abmessungen. Der von der Union, Berlin gebaute Steckkontakt (Fig. 179) für 500 Volt und 75 Ampere dient zum Anschluß von Bergwerksmaschinen und ist wasserdicht. Bei Nichtbenützung wird die Fassung durch den Deckel D abgedeckt. Die kleinen Dreh- oder Dosenschalter für Stromstärken von $^1/_2$ bis etwa 15 Ampere werden in den verschiedensten Modifikationen ausgeführt, z. B. Fig. 180 mit Momentschaltung für 6 Ampere von Voigt & Häffner und Fig. 181 u. 182 von Schuckert (D. R.-P. 114058). Für den letzten Schalter besteht die Grundplatte aus Speckstein. Der englische Dosenschalter Fig. 183 (Hart Mfg. Co.) hat Drehbewegung mit Messerkontakten und die amerikanische sog. tumbler-switch (Fig. 184) ist ein Hebelschalter. Die Dosenschalter werden wohl auch nach Fig. 185 als mehrfache Umschalter ausgebildet. In Fig. 185 ist die Ausschaltestellung (Stufe 1) gezeichnet, dreht man um eine Stufe weiter nach rechts (Stufe 2), so brennen die 10 Lampen a, dreht man auf Stufe 3, so brennen die 20 Lampen b und auf Stufe 4 beide Gruppen a + b = 30 Lampen. — Die Normalstromstärke muß in deutlicher Weise auf dem Schalter vermerkt sein.

Die an Schalttafeln üblichen Schalter [1]) für Gleichstrom, sowie für

[1]) Einige gute Skizzen von Schaltern finden sich in Niethammer, Hebezeuge, Fig. 73 ff.

Digitized by Google

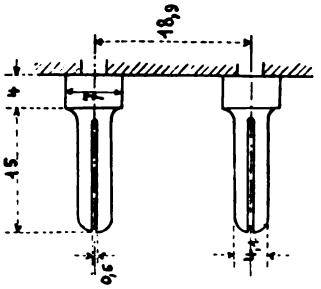
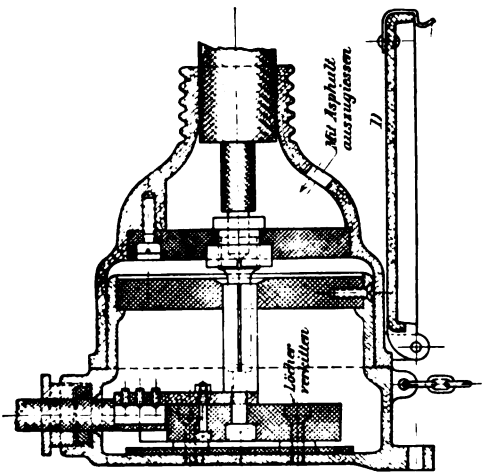


Fig. 178.

Fig. 180. Voigt & Häffner.

Fig. 181.

Schuckert. Fig. 182.



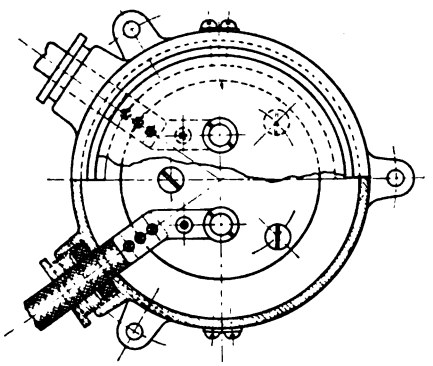


Fig. 179. Union E.-G.

Fig. 183.

Fig. 184.

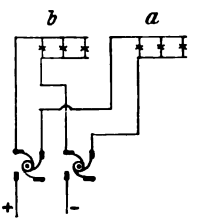


Fig. 185.

Digitized by Google

Wechsel- und Drehstrom bis etwa 1000 Volt gehören zu den Hebelschaltern mit Messerkontakten, Schnappbewegung und Hilfskontakt oder

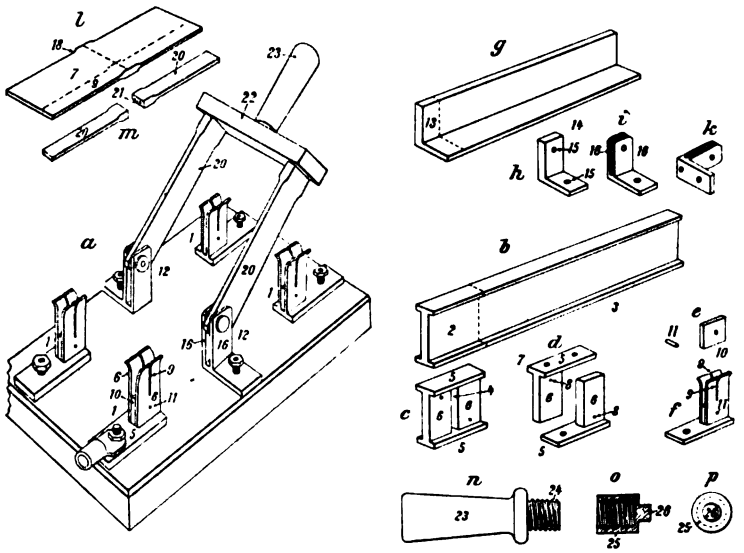


Fig. 186. General Electric Co.

Fig. 187. A. E.-G.

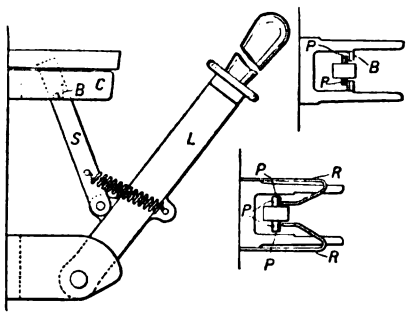


Fig. 188.

Fig. 189. Schuckert.

anderweitiger Funkenlöschung; die Unterbrechung ist meist allpolig. Die Ausbildung der Kontakthebel und der Kontakte ist aus Fig. 186 (E. P. Nr. 1061 von 1903), 75, 187, 188 (E. P. Nr. 17574 vom Jahr 1900)

Digitized by Google

und Fig. 189 bis 194 ersichtlich (Fig. 187 ist zur Montage hinter der Schalttafel bestimmt, A. E.-G.). Die Stromdichte in den Metallteilen

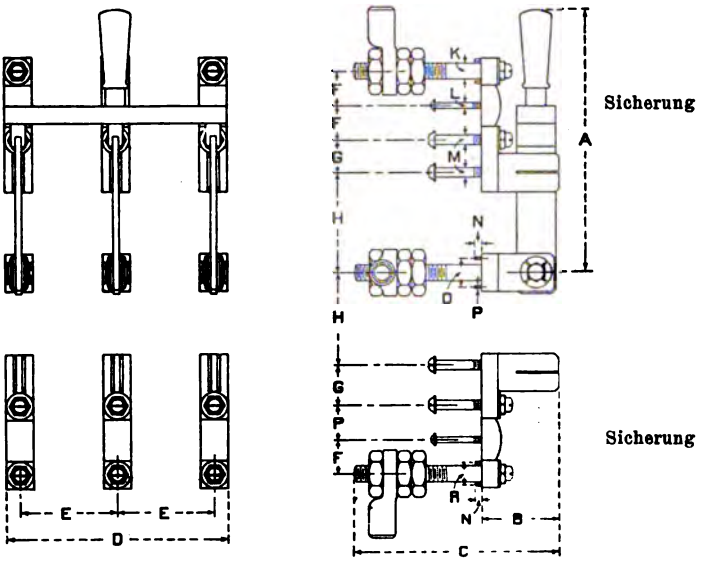


Fig. 190. General Electric Co.

soll für gezogenes Kupfer, was man zweckmäßig für sämtliche Schalterteile verwendet, 2 Ampere pro Quadratmillimeter und weniger sein,

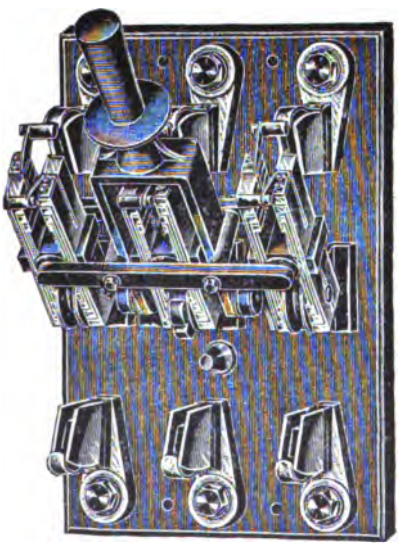


Fig. 191. A. E.-G.

für andere Materialien, von denen hauptsächlich noch Messing und Bronze in Frage kommen, im umgekehrten Verhältnis des spezifischen

Digitized by Google

Widerstandes weniger. Die Stromdichte in den Kontaktflächen wählt man wohl allgemein kleiner als $^1/_2$ Ampere pro Quadratmillimeter, häufig sogar unter $^1/_{10}$ Ampere. Der Spannungsabfall pro Kontakt ist etwa 0,07 bis 0,05 Volt pro Ampere. Der Flächendruck beträgt je nachdem 0,3 bis 2 kg pro Quadratzentimeter. Die Messer sind gut

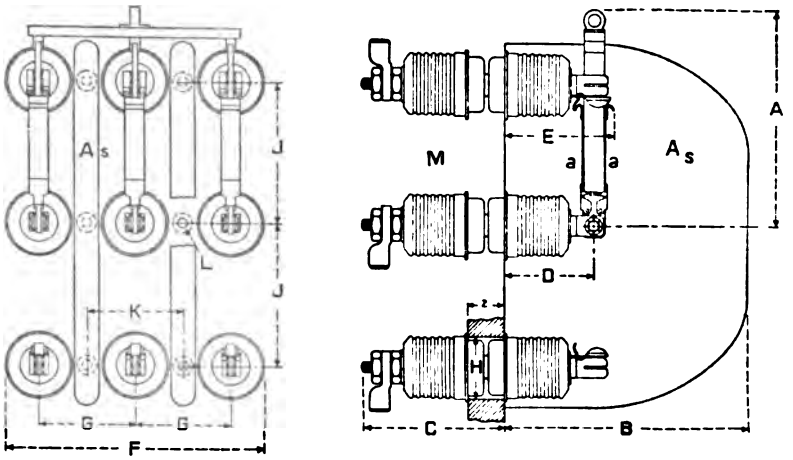


Fig. 192. General Electric Co.

einzuschleifen. Die Grundplatte aus Marmor, Porzellan, Schiefer oder Speckstein ist 20 bis 30 mm stark. Der 90 bis 120 mm lange und 20 bis 30 mm starke Griff aus Ebonit sollte von den Schalterkontakten

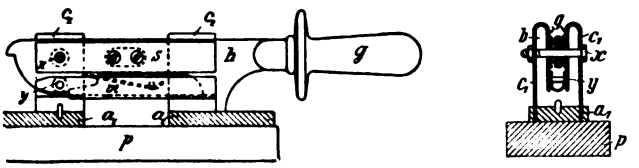


Fig. 193. Siemens & Halske.

(Fig. 194 nach Erlacher) abgebogen und mit einer reichlich großen Schutzscheibe versehen sein. Die Entfernung D (Fig. 195) zweier Schalterkontakte desselben Pols kann man nach folgenden Beziehungen ermitteln (nach Erlacher):

$$D = c_1 + \frac{J}{c_2} \text{ in Millimeter,}$$

worin J = Stromstärke und bis 250 Volt $c_1 = 50—100$, bis 800 Volt $c_1 = 70—150$ und bis 2000 Volt $c_1 = 150—200$ mm; c_2 ist für Spannungen bis 800 Volt = 10, bei 2000 Volt $c_2 = 5$. Bei 20000 Volt ist D = 750—1500 mm, bei einem ausgeführten Schalter für 200 Volt 500 Ampere schon 500 mm.

Digitized by Google

Den Abstand d (Fig. 195) der nebeneinander liegenden Kontakte verschiedener Polarität bei 2 und 3poligen Schaltern kann man aus dem Ausdruck

$$d = k_1 + \frac{J}{k_2} \text{ in Millimeter}$$

finden:

Volt	250	800	2000	} oder mehr!
k_1	10—30	30—60	50—100	
k_2	10	10	5	

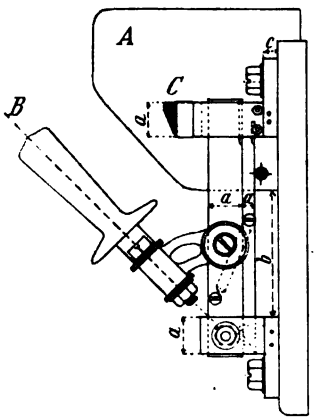


Fig. 194.

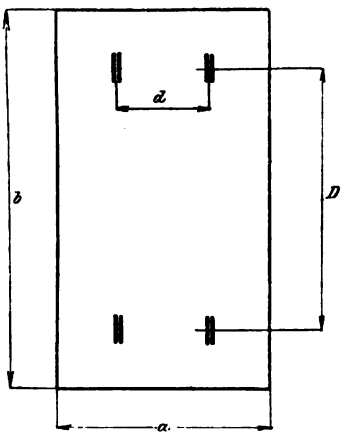


Fig. 195.

Bei großen Stromstärken dürften die Formeln etwas reichliche Werte geben. Ein Schalter bei 4000 Ampere und 250 Volt hat z. B. D = 240, d = 240. Für 6000 Volt 200 Ampere ist D = 300, d = 200.

Die Befestigungsschrauben der Schalterplatte sind je nach Größe $^1/_4$ bis $^3/_8$" stark. Die Schrauben und Schuhe zur Stromleitung siehe S. 107 ff.

Die Grundfläche a × b (Fig. 195) ergibt sich bei einpoligen Schaltern beiläufig zu:

$$a = d \text{ bis } a = 1{,}5\,d,$$

ferner

$$b = D + d \text{ bis } D + 2\,d,$$

bei 2 Polen bleibt b, aber

$$a = 2\,d \text{ bis } 2{,}5\,d,$$

und bei 3 Polen

$$a = 3\,d \text{ bis } 3{,}5\,d.$$

Der Handgriff steht meist noch 100 mm über diese Grundfläche hinaus.

Digitized by Google

Der gesamte Ausschalteweg sollte für Luftschalter mindestens folgende Werte haben:

Ampere	bis 300 Volt Gleich- oder Wechselstrom	bis 1000 Volt Gleichstrom	bis 2000 Volt Wechselstrom
5	20 mm	100 mm	100 mm
50	40 „	200 „	250 „
200	100 „	330 „	380 „
500	180 „	410 „	500 „

Länge der Unterbrechungsfunken:

100 Volt	Amp.	5	20	50	
	cm	0,8	2,7	4,8	einfache Unterbrechung
	cm	—	0,6	1,0	doppelte „
250 Volt	Amp.	5	20		
	cm	3,3	8,3		einfache Unterbrechung
	cm	1,4	3,7		doppelte „

Für die Wahl der Stromdichten mag folgendes als Anhaltspunkt dienen, alles in Amp./qmm:

Leitungen zu Schaltern . . . . . ½ bis 1,
Verschraubte Kontakte 1½,
Bürstenkontakte 2½,
Verlötete Kontakte 3½,
Eingeschliffene Kontakte . . . . . 4.

Entfernungen zwischen Leitungen pro 100 Volt: 10 mm in Luft, 20 mm gegen Erde, 15 mm zwischen Kontakten unter Oel (siehe auch S. 111 und unter Oelschalter).

Die zulässige Stromdichte i_s in Kontaktflächen ist nach Hellmund[1])

$$i_s = \sqrt{\frac{T c_1 c_2}{c_3}}.$$

T = zulässige Uebertemperatur (50° bei offenen Schaltern, 10° bei Dosenschaltern), c_1 = Verhältnis des tatsächlich aufliegenden Querschnitts zum vollen ($c_1 = 0{,}05-0{,}95$), c_2 ist der Abkühlungskoeffizient, der von der Oberflächenbeschaffenheit und der Maße der Schalterteile abhängt ($c_2 = 0{,}00006-0{,}004$), und c_3 ist der Uebergangswiderstand pro qmm, der vom Material, von i_s und dem Druck abhängt ($c_3 = 0{,}0045$ bis $0{,}07$). Damit ergibt sich $i_s = 0{,}1-5$ Amp./qmm.

[1]) Z. f. E. Wien 1902, S. 497 ff.

Digitized by Google

Die einem bestimmten Strom entsprechenden Schrauben siehe S. 107. Die Erwärmung stromleitender Schrauben ist nach Hellmund

$$T = C\frac{J^2}{d^4},$$

C hängt von der Konstruktion und dem Material ab (C = 3—60), oder

$$d = c\sqrt{J}.$$

c = 1,0—1,4. Leiten die Schrauben den Strom nicht, sondern handelt es sich nur um aufeinander gepreßte Flächen, so kann man in diesen 0,3—0,5 Amp./qmm zulassen.

Auch der Drehpunkt des Messerschalters ist mit genügender Reibfläche zu versehen oder man hat pro Messer, die meist 2 bis 10 mm stark sind, zwei Kontaktflächen zu verwenden (Fig. 75 u. 187).

In Fig. 189 von Schuckert, ferner in Fig. 190, 192, 196 u. 197 der Gen. El. Co. geschieht die Ueberleitung am Drehzapfen durch eine elastische Scheibe. In Fig. 186 der Gen. El. Co. ist der Drehpunkt als guter Reibkontakt ausgebildet, auch in Fig. 191 der A. E.-G. ist an der betreffenden Stelle ein unterteilter Reibkontakt vorhanden.

Die Schaltmesser sind mit Anschlagböcken zu versehen, so daß sie ausgeschaltet unter 90° stehen bleiben und nicht mit anderen Apparaten auf der Schalttafel in Berührung kommen.

Die Schnappbewegung wird gewöhnlich dadurch erreicht, daß bei der kreisförmigen Bewegung des Schalthebels zunächst eine Feder gespannt wird, und wenn die Federkraft gleich der Reibung der Messerflächen ist, verläßt das Messer die Kontaktfeder sehr rasch. Die Feder ist also nur während der kurzen

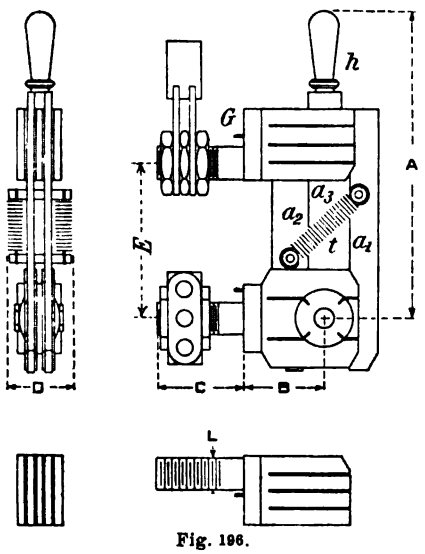


Fig. 196.

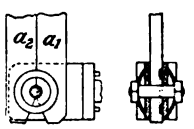


Fig. 197.

Ausschalteperiode gespannt. Diese Vorrichtung, welche von vielen Firmen ausgeführt wird, geht aus Fig. 196 u. 197 der Gen. El. Co. deutlich hervor. In Fig. 196 zieht man zunächst den Griff h mit a_1 und a_3 heraus, während a_2 zurückbleibt, die Feder f wird gespannt, bis a_1 nach Fig. 197 am Drehpunkt auf a_2 trifft und den Hebel schnappend

Digitized by Google

herausdrückt. Noch deutlicher wird die Schnappbewegung aus Fig. 188, wo zunächst nur der Hebel L die Schalterklemme verläßt, bis der Stift P des Hilfshebels S sich um den Anschlag B gedreht hat und dann herausschnappen kann. Bei einem einfachen Schalter nach Fig. 196 entfällt a_1 und die Feder ist an a_2 fest; Fig. 196 ist ein Umschalter.

Für Spannungen über 600 bis 2000 Volt sollten isolierte Zwischenwände A zwischen die einzelnen Pole oder Phasen gelegt werden, wie das aus Fig. 192 ersichtlich ist. Bei noch höheren Spannungen bis 6000 Volt, wofür allerdings zweckmäßiger Oelschalter verwendet werden, sind die einzelnen Kontakte auf hohen Porzellanisolatoren M zu montieren (Fig. 192). Dieser letzte Schalter der General Electric Co. besitzt ebenfalls Momentunterbrechung, die aber vermittels eines besonderen, nicht für den Hauptstrom benützten Blechstreifens a ausgeführt wird. Dieser endigt in ein leicht ersetzbares, V-förmiges Stanzstück, das vor dem Unterbrechen gegen ein abgerundetes Messingstück der Schalterklemme sich anspreizt. Dieser Hilfskontakt öffnet sich erst, nachdem der Hauptkontakt 30° zurückgelegt hat. Zu Funkenziehern werden ferner außer solchen leicht ersetzbaren Messingstücken, wie sie auch der A. E.-G.-Schalter (Fig. 191) zeigt, Kohlenkontakte benützt, die sich erst einige Zeit nach den Hauptkontakten öffnen, und schließlich im Nebenschluß zur Hauptunterbrechung liegende Hörner, an denen der Lichtbogen aufsteigt und abreißt. Die Kohlenkontakte können selbst ins Glühen kommen und etwas abbröckeln, aber sie schmelzen nie fest. In Fig. 198 geschieht nach E. Thomson die Hilfsunterbrechung dadurch, daß der bewegliche Kontakt 3 die zwei Metallkontakte 5 verläßt und auf zwei nichtleitende unverbrennliche Stücke 8 übergeht, die aus geschmolzenem Quarz bestehen.

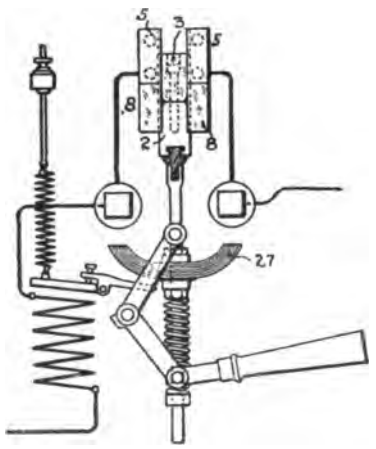


Fig. 198.

Um den Extrastrom unschädlich zu machen, kann man gleichzeitig mit der Ausschaltebewegung den abgeschalteten Stromkreis auf einen induktionsfreien Widerstand oder auf einen Kondensator schalten. Eine solche Ausführung zeigen besonders die Feldschalter, z. B. Fig. 199 von Schuckert mit eingebautem Funkenlöschwiderstand W_2, sowie Fig. 200 u. 201 der General Electric Co. Der Schalter Fig. 201 schließt den Feldkreis bei horizontaler Lage des Hebels, dreht man den Griff nach unten, so öffnet sich der Schnapphebel mit Kohlenkontakt

Digitized by Google

und in der unteren Stellung ist das Feld auf einen Widerstand geschlossen. In Fig. 201 wird zunächst beim Herausdrehen des Griffs das Netz unter Benützung des Kohlenfunkenziehers bc unterbrochen, Feld und Anker bleiben jedoch auf sich geschlossen, bis der Hebel den langen Kontakt a verläßt.

Die rationelle Massenfabrikation eines Hebelschalters ist in anschaulicher Weise in Fig. 186 dargestellt. Aus der I-Schiene b werden die Stücke 2 abgeschnitten und daraus entwickeln sich schrittweise nach

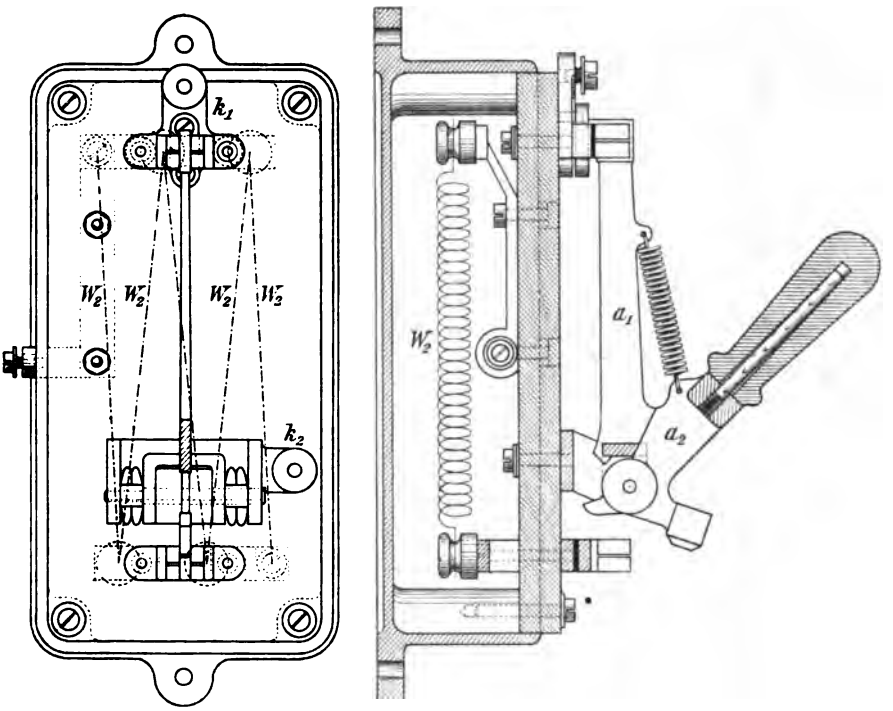


Fig. 199. Schuckert.

Fig. 186 c, d, e u. f die äußeren Schalterklemmen. Die Klemmen an den Drehpunkten entstehen in ähnlicher Weise aus den Winkelschienen g gemäß Fig. 186 h, i u. k. Die Messer stellt man zu zweien aus dem Formstück l her. Auch der Anbau des Griffes ist noch in Fig. 186 n, o, p gezeigt.

Der nach Fig. 202 in einen Gußkasten eingebaute Messerschalter gehört zu dem 2 PS-Antriebsmotor einer Krempel [1]). Jedes Messer greift in zwei Klemmen g und g_1 ein. Der Kasten, in dem auch die Schmelzstreifen s sitzen, ist durch eine Zinkhaube abgedeckt.

Wird der Kontakthebel aus einer massiven Kupferschiene hergestellt, so müssen die Kontaktklemmen nach Fig. 203 oder 186 f etc. federnd ausgebildet sein. Vielfach bestehen jedoch die festen Klemmen aus ziem-

[1]) Z. V. D. I. 1900, S. 1764.

Digitized by Google

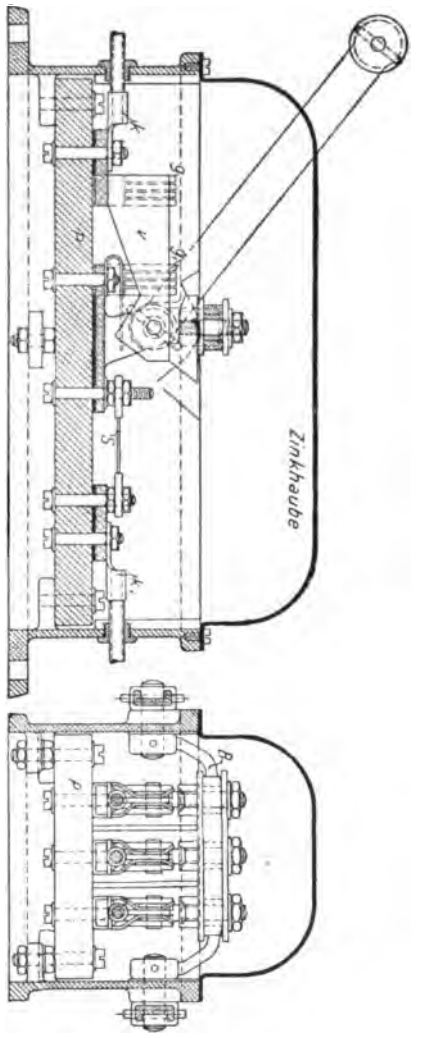


Fig. 202.

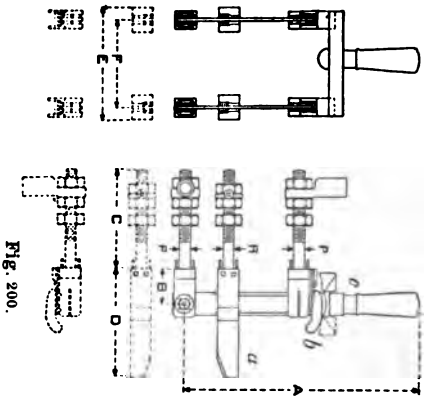
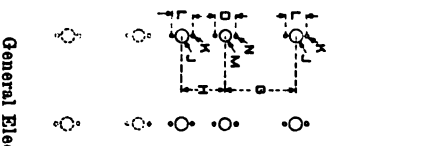


Fig. 200.



General Electric Co.

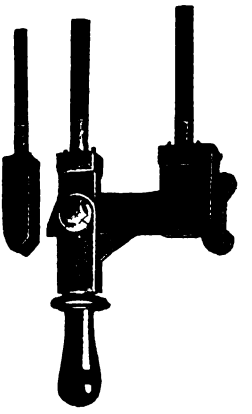


Fig. 201.

lich unelastischen Kupfer- oder Messingklötzen, dann hat man die Kontakthebel gut federnd zu machen, indem man sie z. B. aus einer Reihe Lamellen zusammensetzt (Fig. 191 der A. E.-G.).

Bei dem Entwurf aller Kontakte sollte man darauf achten, daß der Unterbrechungsfunke an einer Stelle entsteht, die nicht der Hauptkontaktfläche für dauernden Stromdurchgang angehört, z. B. an den Stellen a (Fig. 203), nicht bei b.

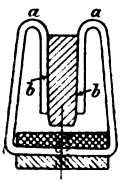


Fig. 203.

Um zu verhindern, daß der Unterbrechungsfunken auf die Hand des Bedienenden überschlägt, sieht man außer den Endscheiben am Griff über dem Schalter Schutzhauben vor (Fig. 63). Bei solchen abgeschlossenen Schaltern muß jedoch eine Garantie dafür vor-

Digitized by Google

handen sein, daß er in keiner Zwischenstellung stehen bleibt, da ein stehenbleibender Lichtbogen feuergefährlich werden könnte. Es muß auch eindeutig ersichtlich sein, ob der Schalter offen oder zu ist.

Die Unterlagen oder Sockel der Schalter sollen nicht brennbar und nicht hygroskopisch sein. Die normale Stromstärke und Spannung sind auf dem Schalter deutlich zu vermerken.

Fig. 204.

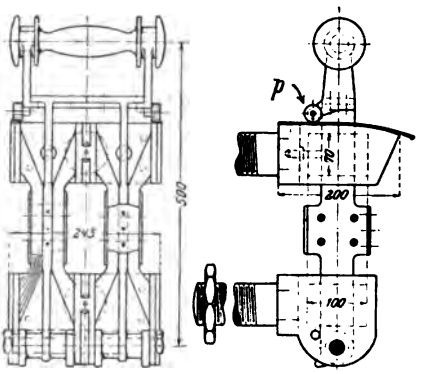


Fig. 205.

Einige Hauptmaße (in mm) von Messerschaltern sind folgende:

1. Fig. 190, die einen mit Sicherungen kombinierten Umschalter der Gen. El. Co. darstellt, hat bei 800 Ampere 250 Volt die Maße A = 350, B = 125, C = 240, D = 300, E = 125, F = 50, G = 75, H = 120, K = 25, L = 6, M = 6, N = 6, O = 55, P = 3, R = 40 mm.
2. Fig. 196 u. 197 für 3600 Ampere und 600 Volt: A = 500, B = 130, C = 180, D = 105, E = 250, G = 10, L = 50 mm.
3. Fig. 192 für 6000 Volt 300 Ampere: A = 310, B = 350, C = 130, D = 135, E = 175, F = 360, G = 135, H = 75, I = 200, K = 135, L = 10.
4. Fig. 200 für 500 Ampere 250 Volt: A = 400, B = 70, C = 110, D = 230, E = 135, F = 105, G = 110, H = 80, I = 20, K = 5, L = 20, M = 15, N = 5, O = 25, Q = 3/4", R = 5/8".

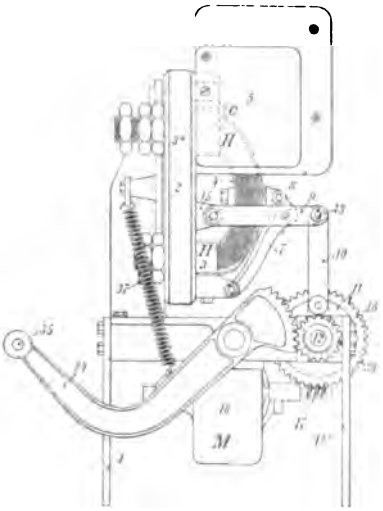
Für große Stromstärken von 1000 bis 10000 Ampere kann man pro Pol zwei und mehr Messer verwenden (Fig. 204 der Siemens-Schuckert-Werke für 1000 Ampere). Es eignen sich jedoch dafür statt der Messer besser starke Kupferblattfedern, die aus vielen dünnen elastischen Kupferblechlamellen zusammengesetzt sind, siehe z. B. Fig. 205 von Lahmeyer-Frankfurt für 5000 Ampere und 110 Volt[1]) und Fig. 206 (Gen. El. Co.). Auch diese Schalter haben besondere Funkenzieher p. Eine andere Ausführung solcher Schalter für

Fig. 206.

[1]) Z. V. D. I. 1903, Elektrizitätswerk Gersthofen.

Digitized by Google

hohe Stromstärken zeigt Fig. 207 u. 207a, die über dem Hauptkontakt H einen Kohlenkontakt c aufweist. Die Stromdichte in diesen Kupferfedern



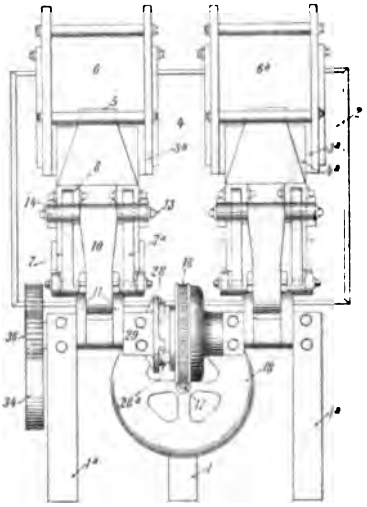


Fig. 207.

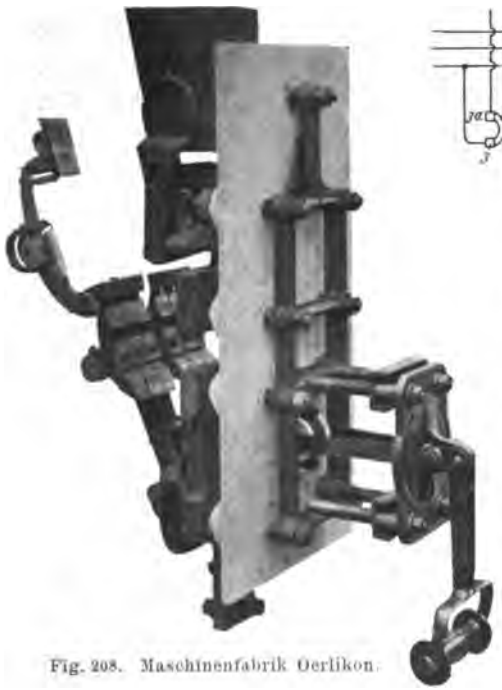


Fig. 208. Maschinenfabrik Oerlikon.

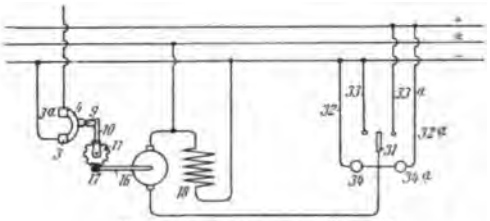


Fig. 207a. Schema zu Fig. 207.

ist etwa ½ bis 1 Ampere pro Quadratmillimeter, auch der Strom in der Kontaktfläche erreicht etwa diesen Wert. Die Lamellen sind ½ bis 1 mm stark und mit stärkeren Bronzefedern zusammengepreßt. Eine Reihe solcher Schalter wird in dem Abschnitt „selbsttätige Schalter" abgebildet. Der Schalter Fig. 207 u. 207a (E. P. 1064, Jahr 1903) gehört ebenfalls zu den selbsttätigen Typen, er arbeitet nach dem Schema Fig. 207a: Wird der Schalter 31 nach rechts oder links gelegt, so läuft der kleine Schaltermotor 18 im einen oder andern Sinn um, da sein Feld dauernd gleich erregt bleibt. Die Bewegung des Motors M

Digitized by Google

(Fig. 207) wird durch Schnecke und Zahnräder auf die Schaltkontakte übertragen. Auf der Schneckenradwelle sitzt noch eine ausrückbare Kupplung, so daß nach zurückgelegtem Schaltweg der Motor leer weiterläuft und das Schalten auch durch den Handhebel 35 möglich ist. Der Schalter wird durch durchgedrückte Hebel festgepreßt. In Fig. 207 a sind 34 und 35 Kontrolllampen. Eine ähnliche solide Schalterkonstruktion mit Funkenzieher wird nach Fig. 208 von der Maschinenfabrik Oerlikon gebaut, er

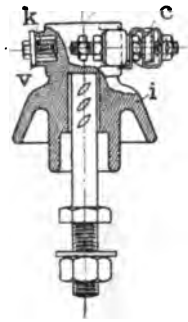


Fig. 210.

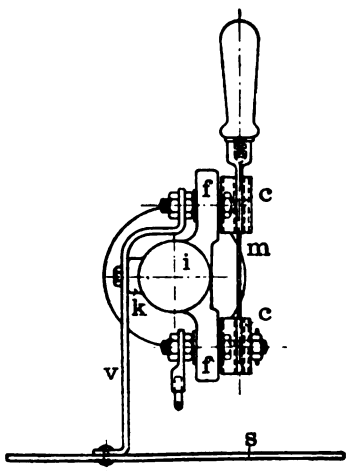


Fig. 209.

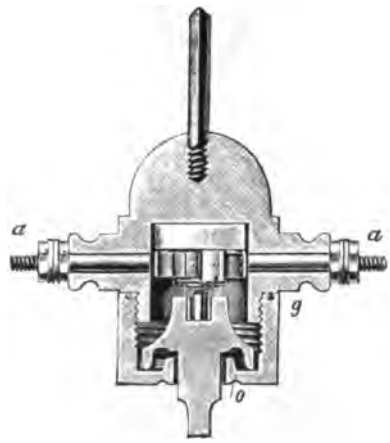


Fig. 211.

wird auf der Rückseite der Schalttafel montiert. Der Schalter Fig. 193 hat eine Schnappbewegung, die durch D. R.-P. 142285 geschützt ist:

Der eine Teil m des Schaltmessers, welcher die endgültige Unterbrechung des Stromes bewirkt, besteht aus einem U-förmig gebogenen, ziemlich starren Blechstück und wirkt mit den unteren federnden Enden der festen Kontaktstücke c_1 zusammen, während der andere Teil h, der aus zwei zu beiden Seiten des Schalthebels in seiner Mitte befestigten Stromschienen s gebildet ist und an den Enden federt, mit den starren oberen Enden der festen Kontaktstücke c_1 in Berührung steht zu dem

Digitized by Google

Zwecke, große, sich innig berührende Kontaktflächen zu erhalten. Als Schnappfeder dient ein flacher Stahlstreifen.

Alle Kontaktfedern und -bürsten und federnden Klemmen sind nach der Beziehung

$$f = \frac{P\,l^3}{\Theta \cdot 3}\,\alpha \text{ in cm}$$

auf Durchbiegung zu untersuchen. Dabei ist die Feder einseitig auf einer freien Länge l eingespannt, am Ende des Hebels l wirkt die Kraft P

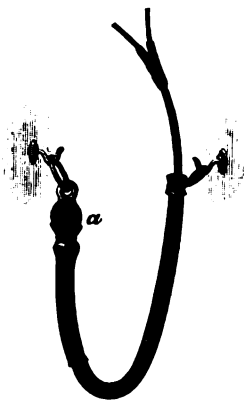


Fig. 212.

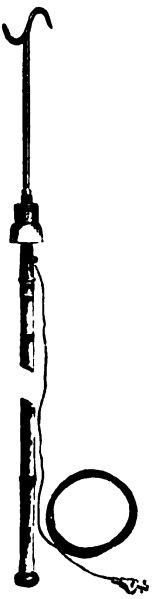


Fig. 213.

Fig. 214.

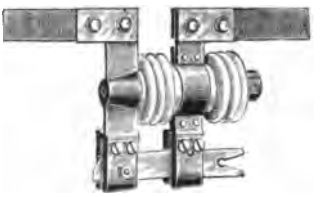


Fig. 215.

(etwa 2 bis 5 kg/c²), $\Theta = 1/6\ bh^2$ ist das Trägheitsmoment des Feder- oder Bürstenquerschnitts, der Dehnungskoeffizient α ist für Kupferblech $1/1150000$, für Flußstahl $1/2200000$. f sollte in der Regel etwa 0,1 cm sein. Meist wird allerdings die Schalterfeder gekrümmt und dann ist der obige Koeffizient 3 zu klein.

Schalter für feuchte und für freie Räume werden auf Isolatoren montiert (siehe Fig. 209, Oester. Pat. 14523 von Siemens & Halske),

Digitized by Google

oder aber man schließt den Ausschalter vollständig in ein Eisengehäuse ein, was in besonders einfacher Weise für die früher erwähnten Dosenschalter möglich ist. Man verschraubt dann die Eisenkappe mit dem Sockel unter Zwischenlegung eines Gummirings, die Schaltachse muß durch eine Stopfbüchse nach außen geführt werden. Ein solcher abgeschlossener Dosenschalter ist in Fig. 210 in Ansicht, in Fig. 211 im Schnitt gezeichnet. Letzterer von S. Bergmann ist für 2,5 Ampere und 250 Volt bestimmt, a a sind die Stromzuführungen, g ist der Dichtungsring und der Raum o wird mit Paraffinöl angefüllt.

Für feuchte Räume werden wohl auch Quecksilberschalter[1]) (Fig. 212 der A. E.-G.) benützt. Dabei liegt der eigentliche Schalter in einem Hartgummigehäuse a, dem Rosten ausgesetzte Teile sind alle abgeschlossen. Der Stromschluß erfolgt durch eine Quecksilberschicht innerhalb der Glocke a und zwar dann, wenn der Schalter nach Fig. 212 aufgehängt ist. Läßt man den wasser- und säurebeständig umhüllten Schlauch nach abwärts fallen, so verläßt das Quecksilber die Stromschlußstücke.

Die Trennschalter zum stromlosen Abtrennen von Sammelschienen und Schaltern werden in der Regel als Messerschalter ausgebildet, die mit Hilfe eines Hakens (Fig. 213 von Siemens & Halske) oder eines isolierten Griffs geöffnet werden. Bei Hochspannung hat man sie auf Porzellankörper zu montieren (Fig. 214 u. 215 von Voigt & Häffner). Auch Sicherungen, die man mit Hilfe von isolierten Zangen einsetzt, werden als Trennschalter verwendet. Fig. 46 zeigt weitere Trennschalter, die zum Umschalten auf verschiedene Schienen geeignet sind.

11. Hochspannungsschalter.

Um den Hebelschalter für Hochspannung geeignet zu machen, hat man zunächst sehr lange Hebelarme zu verwenden. Die Westinghouse Co. hat derartige Hochspannungsschalter bis 40000 Volt nach Fig. 216 ausgeführt, wobei die Hebellänge einen Meter überschreitet. Die Abbildung speziell gilt für 22000 Volt. Der Kontakt besteht aus Kupferfedern, zu denen zwei aufeinander gepreßte Kohlen parallel liegen. Zwischen die einzelnen Phasen sind nach vorn und oben weit vorstehende Isolationswände aus Marmor, Schiefer, Asbest, Speckstein etc. einzubauen. Die Firma Siemens & Halske hat Hebelschalter für Spannungen bis etwa 15000 Volt in der aus Fig. 217 (6000 Volt, 200 Ampere) ersicht-

[1]) Im E. P. 21551 (Jahr 1903) ist ein Quecksilberschalter für Straßenglühlampen beschrieben: Ein Gefäß, das Quecksilber enthält, wird gedreht; in der einen Endstellung tauchen zwei Elektroden in das Quecksilber, in der andern sind sie unterbrochen.

Digitized by Google

lichen Weise gebaut, wobei alle Kontakte auf Isolatoren montiert und die einzelnen Phasen sehr zweckmäßig durch umgebogene Schutzhauben gegeneinander abgedeckt sind. Um das Abreißen des Lichtbogens zu

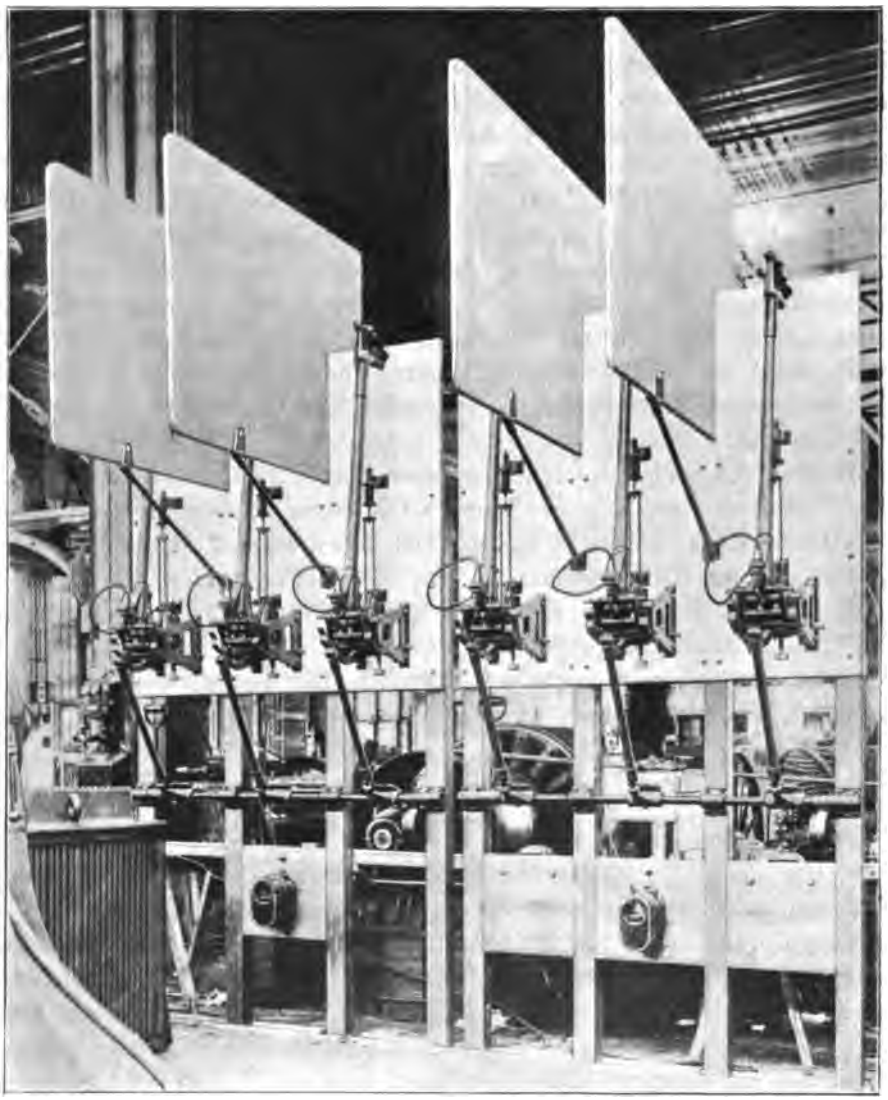


Fig. 216. Westinghouse Co.

beschleunigen, kann man pro Pol zwei in entgegengesetzter Richtung rasch drehbare Schalthebel vorsehen, Fig. 218 nach E. P. 6704 vom Jahr 1898 (Parshal). Auch die A. E.-G. hat einen solchen Schalter in zwei Ausführungen vielfach gebaut. Eine derartige Konstruktion wird z. B. in der Zentrale Karlsruhe nach Fig. 219 verwendet (Ges. f. elektr.

Digitized by Google

Industrie, Karlsruhe). Der Hebelschalter H in dem Schaltkasten Fig. 95a für 3000 Volt von Helios ist auf der Rückseite einer besonderen Marmorplatte hinter der eigentlichen Schalttafel montiert. Solche hinter der Schaltwand liegende Hebelschalter haben Voigt & Häffner vielfach geliefert. Zum Aufnehmen

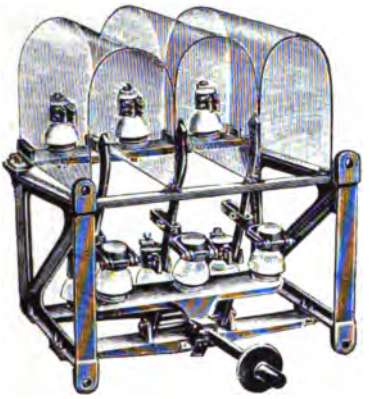


Fig. 217.

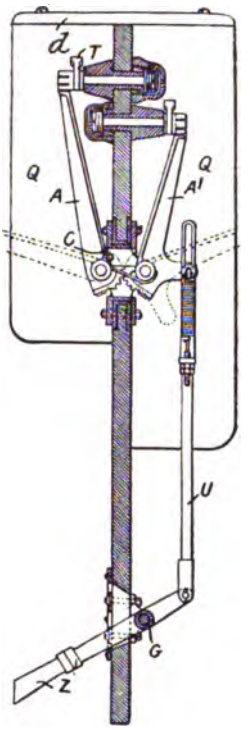


Fig. 218.

der Unterbrechungsfunken dieser Hochspannungshebelschalter ordnet man wohl auch an den Kontaktstellen Hörner (Fig. 26) an, an denen der Lichtbogen erlischt, oder man lenkt nach Fig. 220 einen Luftstrom auf den Unterbrechungsfunken und schließlich ist eine Funkenlöschung durch Magnetfelder, d. h. durch Solenoide und Elektromagnete möglich. Die elektro-

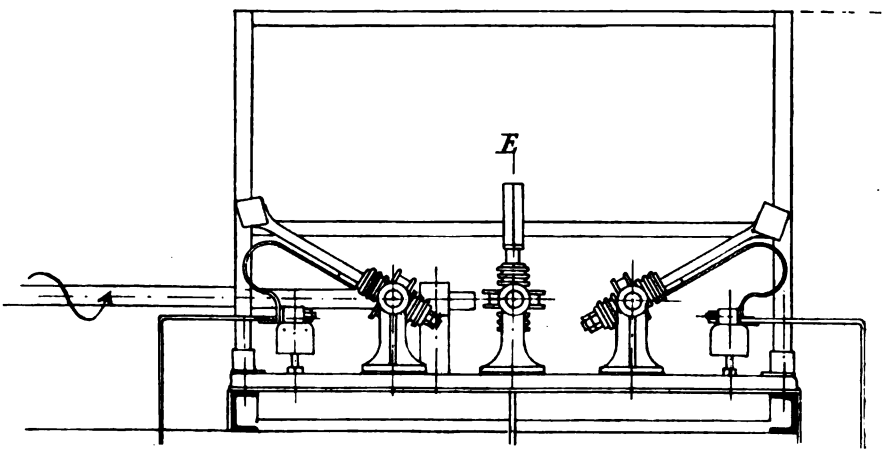


Fig. 219. Ges. f. elektr. Industrie.

Digitized by Google

dynamische Wirkung der Hörner besteht darin, daß zwei stromdurchflossene Leiter (Fig. 221) bei gleicher Stromrichtung in beiden Leitern sich stets parallel zu stellen suchen. Nach diesem Gesetz wird ein zwei Leiter überbrückender Lichtbogen gemäß Fig. 221 nach oben getrieben. Unterstützt wird diese Wirkung durch Wärmeströme und außerdem wird der Lichtbogen durch die auseinanderlaufenden Hörner immer länger.

Das Ausblasen durch ein Magnetfeld erfolgt nach Fig. 222 u. 223. Der Strom verläuft senkrecht zu den vom Nordpol N ausgehenden Kraft-

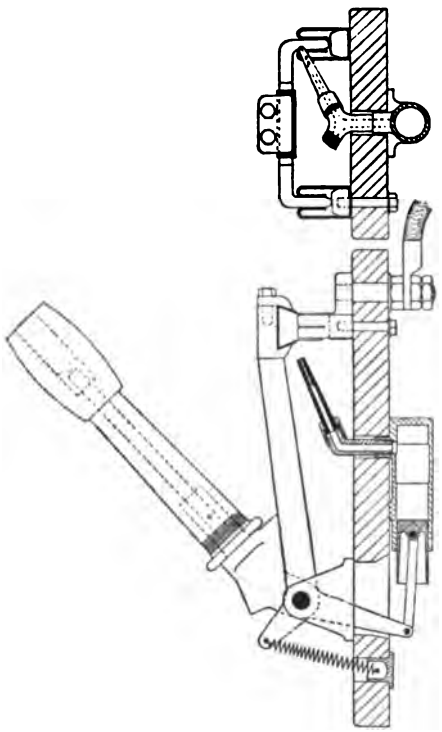


Fig. 220.

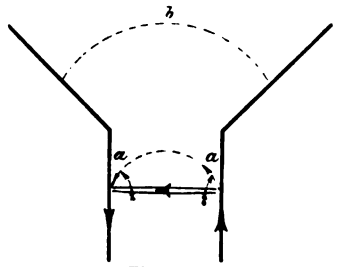


Fig. 221.

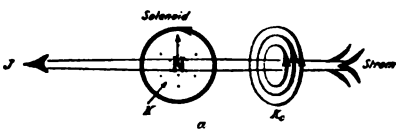


Fig. 222.

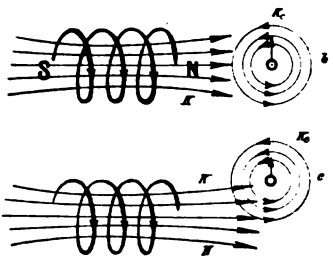


Fig. 223.

linien. Um den Leiter entsteht durch den Strom bekanntlich ein zirkulares Magnetfeld K_c, dessen Kraftlinien zum Teil gleiche, zum Teil entgegengesetzte Richtung wie das Hauptfeld K haben. Der Leiter sucht sich nun so einzustellen, daß möglichst viel Kraftlinien des Zirkularfeldes mit dem Hauptfeld gleiche Richtung haben, d. h. er wird auf die Seite geschoben, ein Lichtbogen bricht sich dabei und erlischt, wie das deutlich Fig. 224 veranschaulicht. Es ist jedoch bei all diesen sehr rasch gelöschten Unterbrechungen die Tatsache zu beachten, daß je plötzlicher der Strom unterbrochen wird, d. h. je größer die Stromänderung pro Zeiteinheit ist, desto höher wird die Extraspannung, welche auf die übrigen Apparate im Netze zerstörend rückwirken kann.

Digitized by Google

Ein weiteres vielfach benütztes Hilfsmittel zur funkenfreien Unterbrechung besteht in der Anwendung von mehreren hintereinander liegenden Unterbrechungen pro Pol (Fig. 225). In Fig. 225 von Schuckert

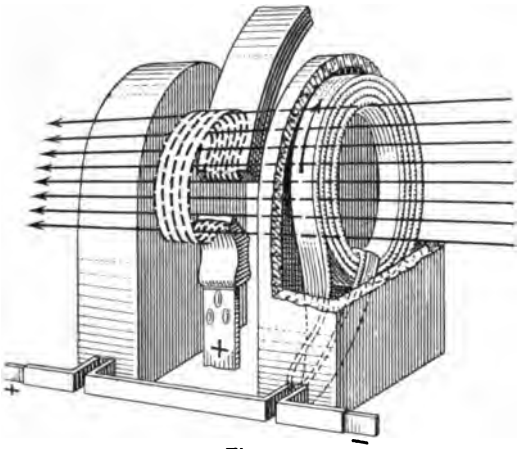


Fig. 224.

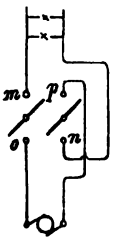


Fig. 225.

geschieht die doppelte Unterbrechung über Kreuz, um einen Maschinenkurzschluß durch überschlagenden Lichtbogen zu vermeiden (D. R.-P. 113693). Das Prinzip der mehrfachen Unterbrechung, wie es von den

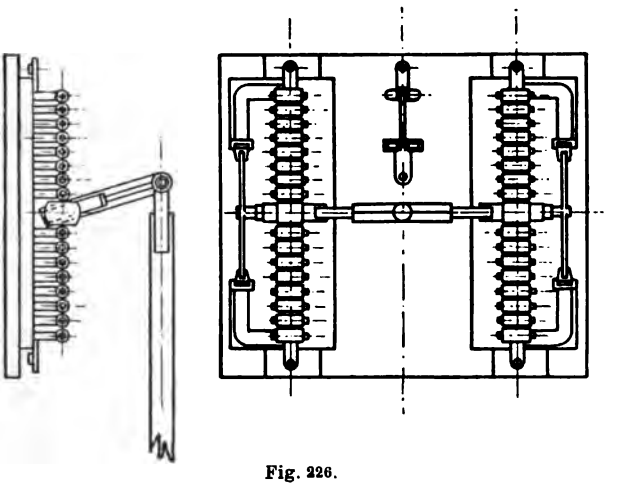


Fig. 226.

Rollenblitzableitern[1]) her bekannt ist, war in dem seinerzeit von Schuckert gebauten Rollenschalter (D. R.-P. 94788) verkörpert, in dem eine große Zahl Rollen aus funkenverhinderndem Material (zinkhaltige[2]) Legierungen) aufeinander gepreßt wurden (Fig. 226). Zum

[1]) Siehe unter Blitzableiter.

[2]) Beim Erhitzen von Zink bildet sich das nichtleitende Zinkoxyd.

Digitized by Google

Abreißen des Lichtbogens schiebt man wohl auch eine feuersichere Wand, einen Fallschieber zwischen die beiden sich entfernenden Kontakte. In Fig. 227 wird der Schieber a durch den Schalthebel nach oben geschoben und überdeckt die Oeffnung im Schaltersockel, durch welche der bewegliche Kontakt sich nach außen dreht, völlig. Ein anderes Mittel, hohe Spannungen mit einem Hebelschalter zu unterbrechen, besteht darin, daß parallel zum Hauptkontakt ein langer dünner Sicherungsdraht gelegt wird. Unterbricht man den Hauptkontakt (funkenfrei), so geht der

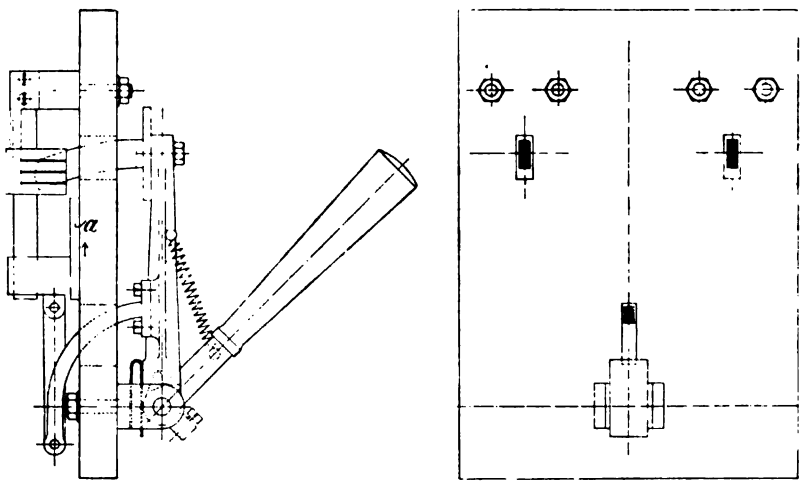


Fig. 227.

ganze Strom zunächst durch diesen Draht, der infolgedessen rasch durchschmilzt und den Stromkreis unterbricht. Der Draht ist jedesmal zu erneuern.

In all den besprochenen Formen ist jedoch der Hebelschalter über 3000 bis 5000 Volt nicht mehr als sehr zuverlässig zu bezeichnen und höchstens als Hilfs- oder Trennschalter zu empfehlen. Er fällt riesig groß aus und nimmt deshalb sehr viel Platz ein. Wegen der Lichtbogenbildung sind große Schutzwände aus feuersicherem Material vorzusehen. Der Lichtbogen springt auch leicht auf andere Apparatenteile über und bei Kurzschlüssen gehen solche Schaltertypen manchmal ganz zu Grunde, wodurch eine ganze Anlage lahmgelegt werden kann. — Nur für kurze Zeit haben in Europa die Hörnerschalter[1]) große Verbreitung gefunden. Die Fig. 228 zeigt einen von Sprecher & Schuh gebauten dreipoligen Hörnerschalter für 12000 Volt, der nur 160 kg

[1]) Von C. E. Brown im Jahre 1896 erstmals entworfen. Der Hörnerschalter von Schuckert ist in D. R.-P. 114061 geschützt. In D. R.-P. 122345 ließen sich Voigt & Häffner einen mit Hörnern kombinierten Hebelschalter (Fig. 26) schützen.

Digitized by Google

wiegt. Oberhalb des Messerkontaktes A verlaufen die beiden Hörner, an denen bei der Unterbrechung der Lichtbogen durch elektrodynamische Wirkung und durch den von der Wärme erzeugten Luftzug in die Höhe getrieben wird. Die Unterbrechung geschieht also wie bei den langen Hebelschaltern ganz allmählich mit starker Lichtbogenentwicklung. Diese letztere kann jedoch zu gefährlichen Spannungserhöhungen im Netz Veranlassung geben. Ueberdies werden die Abmessungen dieser Schaltertype ebenso wie die der Hochspannungshebelschalter ganz riesige und

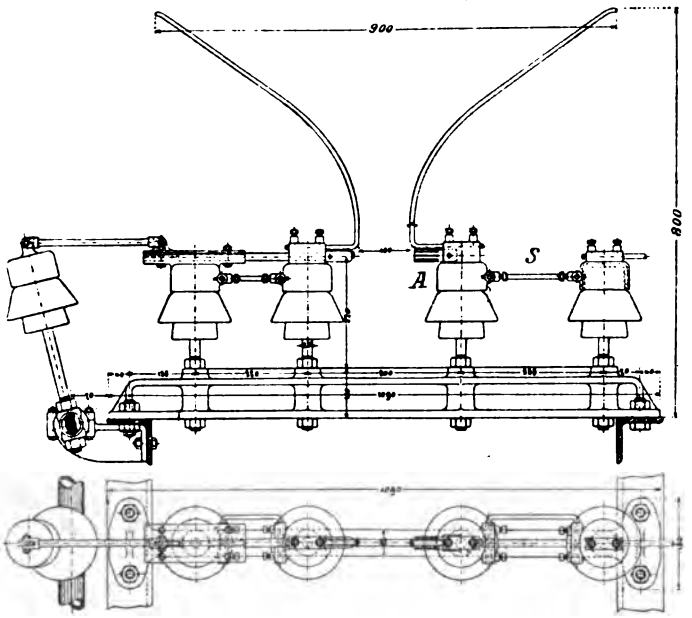


Fig. 228.

trotz Anwendung der größten Schutzwände sind unheilvolle Wirkungen der Feuererscheinungen durch Ueberspringen auf andere Leitungen nicht ausgeschlossen. Der Hörnerschalter findet sich deshalb meist nur noch als Freileitungsschalter, wofür aber auch Hebelschalter in der aus Fig. 229 ersichtlichen Ausführung mit leicht ersetzbaren Hilfskontakten (E.-G. Alioth) sowie Oelschalter verwendet werden können.

Das Prinzip des Röhrenschalters, der sowohl in Luft als in Oel ausgeführt wird, besteht darin, daß nach Fig. 230 (von Siemens & Halske)[1]) der Schalterstift c nach der Unterbrechung in ein Isolierrohr eingezogen wird, wobei der Lichtbogen durch die Luftströmung ausgelöscht wird, so daß die Unterbrechungslänge gegenüber dem Hebel-

[1]) Außerdem bauen Röhrenschalter: die Maschinenfabrik Oerlikon, die General Electric Co. und die Westinghouse Co.

Digitized by Google

schalter wesentlich reduziert werden kann. Solche Stöpsel- oder Röhrenschalter werden in Amerika vielfach für die Bogenlampenanlagen mit

Fig. 229. E.-G. Alioth.

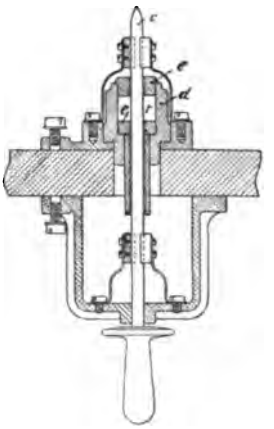


Fig. 230.

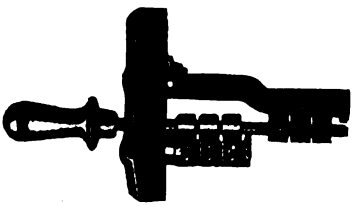


Fig. 231.

konstanter Stromstärke verwendet (siehe Fig. 33). Der Stöpselschalter Fig. 231 der Gen. El. Co. ist dazu besimmt, rasch Verbindungen an

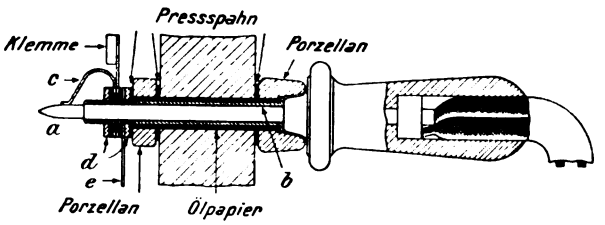


Fig. 232.

Schaltbrettern im stromlosen Zustand herzustellen. Eine interessante Anwendung findet der Stöpselschalter der Gen. El. Co. nach Fig. 232 zum wahlweisen Anschluß von Strommessern. Der Stöpsel besteht aus einem Messingrundstab a und davon isoliert aus einem Messingrohr b.

Digitized by Google

Der Stab a wird durch eine Feder c mit der einen Klemme der Leitung und das Rohr b durch die Mutter d mit der anderen Klemme e verbunden. Zieht man den Stöpsel heraus, so fällt die Springfeder c auf

Fig. 232a.
Maschinenfabrik Oerlikon.

die vordere Messingmutter d, so daß der Stromkreis auch ohne Ammeter geschlossen bleibt. Die Fig. 232a gibt die Ausführung des Röhrenschalters von der Maschinenfabrik Oerlikon mit Zahnstangenbetätigung.

12. Oelschalter.

Der heutzutage verbreitetste Hochspannungsschalter, der Oelschalter[1]), läßt sich zunächst für kleinere Leistungen einfach aus einem gewöhnlichen Hebelschalter (Fig. 233) mit Messer-, Gleit- oder Druckkontakt entwickeln, indem man diese Schalter in einen Oeltopf setzt[2]). Der dreipolige Umschalter Fig. 233 der General Electric Co. für 15000 Volt 100 Ampere hat die Abmessungen: A = 600, B = 340, C = 480, D = 550, F = 350, G = 410, K = 440 mm. Das Oel hat die Wirkung, daß es zwischen die sich entfernenden Kontakte strömt und den Lichtbogen erstickt und zwar, wie Versuche und Theorie bestätigen, unter Vermeidung der bei anderen Schaltertypen auftretenden Oszillationen und Spannungserhöhungen, da die Unterbrechung in der Regel beim Strom Null erfolgt.

[1]) Die ersten kommerziellen Oelschalter wurden ums Jahr 1895 von Ferranti gebaut, für Spannungen bis 20000 Volt und große Leistungen ums Jahr 1897 von C. E. Brown. Partridge hat schon im Jahre 1891 Oelschalter benutzt.

[2]) Dabei ist bezüglich der Kontaktausbildung darauf zu achten, daß auftretende Funken nicht die eigentliche Kontaktfläche angreifen.

Digitized by Google

Die Auswahl des Oeles muß selbstverständlich eine sehr sorgfältige sein, es muß frei von Säure und Alkalien sein, das spezifische Gewicht von

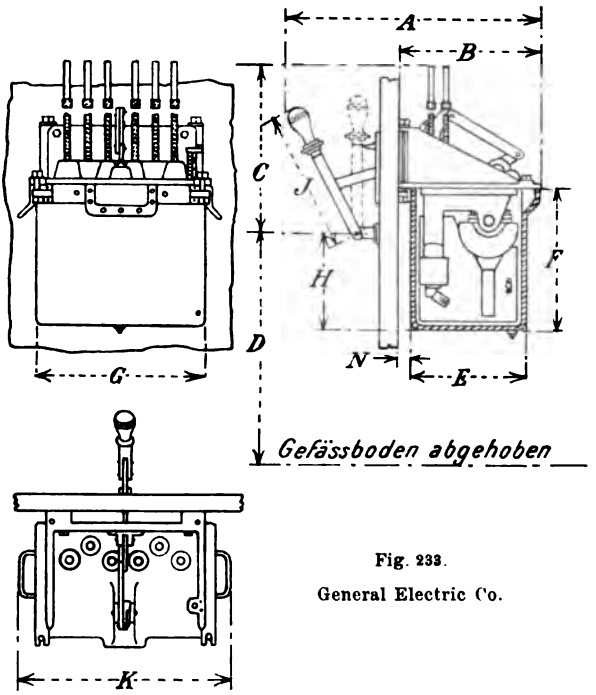


Fig. 233.
General Electric Co.

gutem Paraffinöl ist 0,865, die Entzündungstemperatur 215 Grad Celsius. Im Oelgefäß dürfen keine Teile verwendet werden, die leicht karbonisieren. Obwohl bei der Ausschaltbewegung das Oel bereits in Bewegung versetzt wird, werden hin und wieder besondere Rührplatten oder Rührtrichter vorgesehen, welche das Oel in Bewegung setzen (Fig. 234) sollen. Diesen Vorrichtungen ist jedoch nicht viel Wert beizumessen. Die günstigste Lösung selbst für die höchsten Spannungen dürfte die Ausbildung der Kontakte nach dem Röhrenprinzip sein, wobei die kreisförmige Bewegung der Kontakte durch eine geradlinige (Fig. 235) ersetzt wird und das Oel in das beim Bewegen der Stifte entstehende Vakuum einströmt. Die beweglichen Kontaktstücke der kleineren Oelschalter der General Electric Co. (Fig. 236 bis 240 für

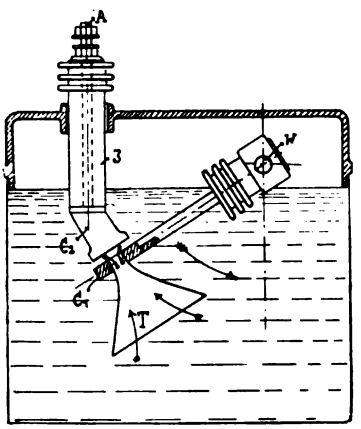
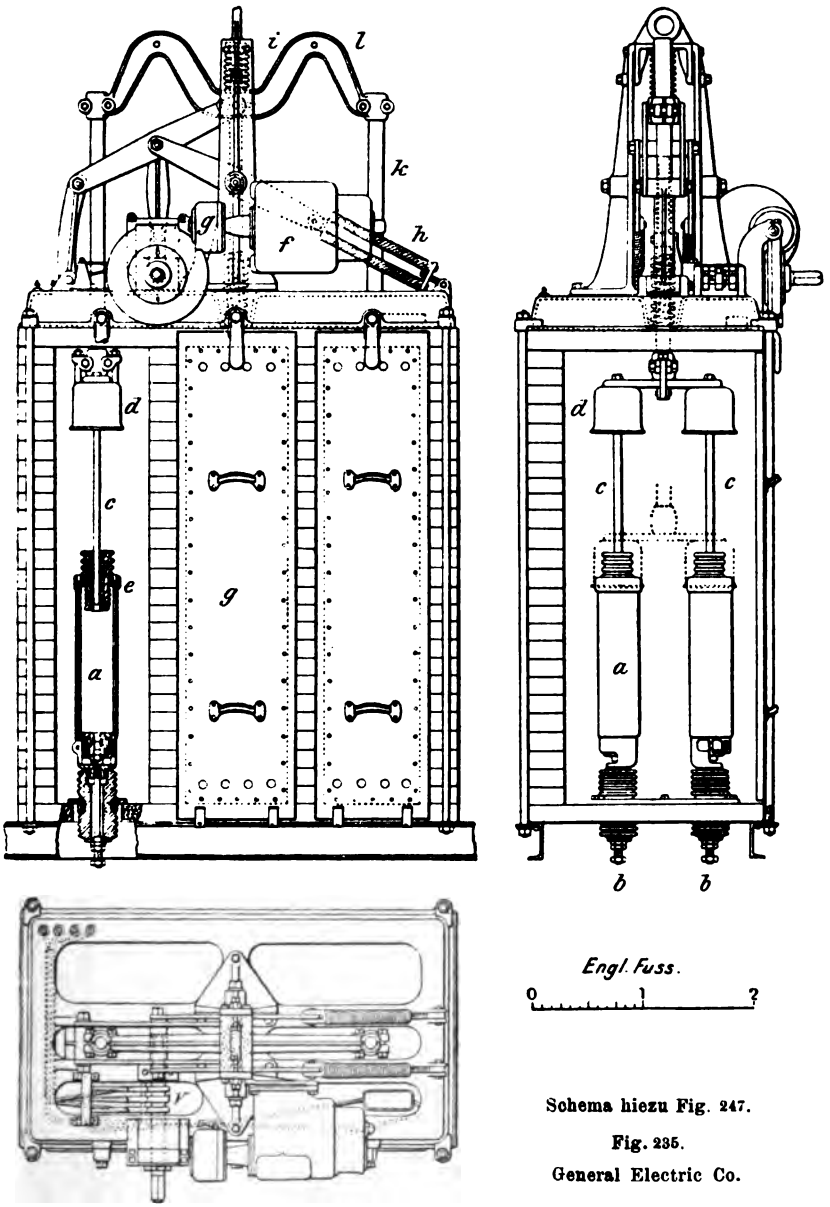


Fig. 234.

Digitized by Google

10000 Volt und 100 Ampere) mit geradliniger Bewegung sind je pro Phase an einer Stange aus Hartholz, das in Harz gekocht wird, befestigt.



Schema hiezu Fig. 247.

Fig. 235.
General Electric Co.

Die festen Kontakte bestehen je aus vier federnden Kupferlamellen, in die sich der bewegliche Kupferklotz einspreizt. In jeder Phase finden mindestens zwei Unterbrechungen statt. Die Schnappbewegung beim

Digitized by Google

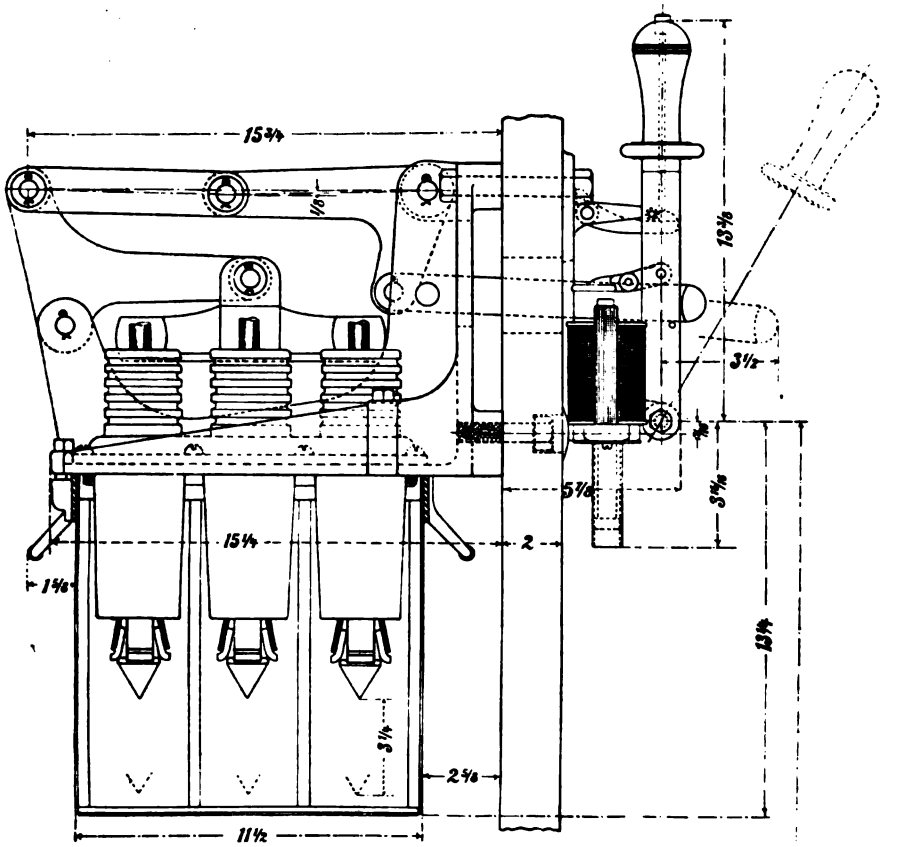


Fig. 236.

General Electric Co.

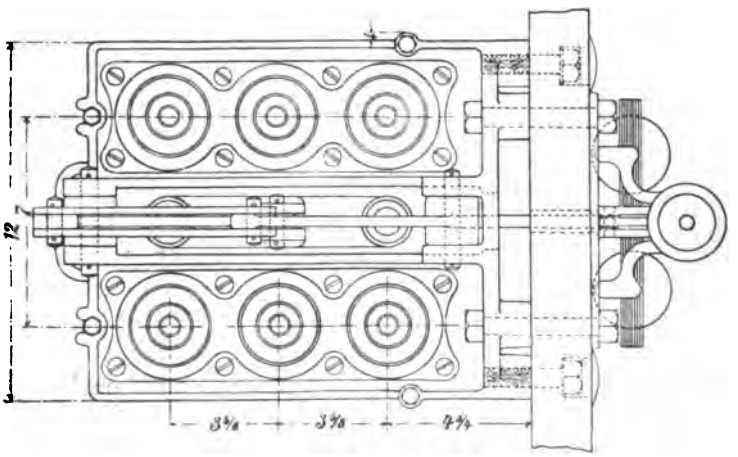


Fig. 237.

Digitized by Google

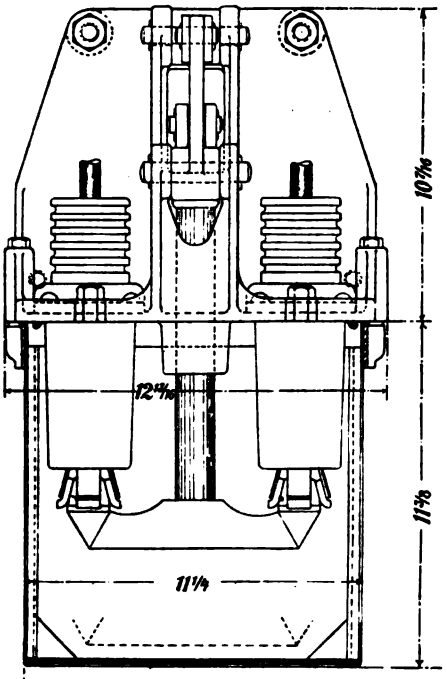
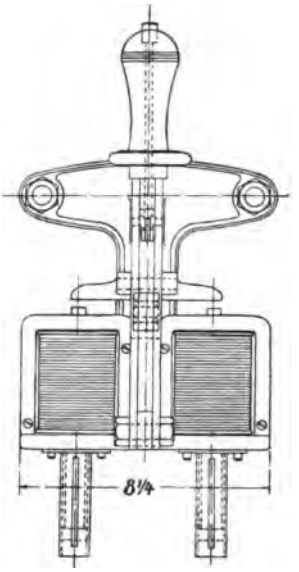


Fig. 238.

Unterbrechen erfolgt entweder durch das Eigengewicht oder



durch eine Spiralfeder. Die plötzliche Ausschaltebewegung muß zum Schluß durch kräftige Gummi- oder Federpuffer gedämpft werden (Fig. 244), da andernfalls die Porzellanteile des Schalters leicht zu Grunde gehen. In dieser Hinsicht ist die geradlinige Schaltbewegung eher etwas ungünstiger als die drehende. Die beweglichen und festen Kontakte werden in der Regel auf Rillenisolatoren gesetzt, deren Höhe mit der Spannung zunimmt.

Für Spannungen bis 10000 Volt und nicht zu große Leistungen kann man alle drei Phasen in einen Oeltopf mit isolierten Zwischenwänden zwischen den einzelnen Phasen legen (Fig. 236 bis 240); bei höheren

Fig. 239.

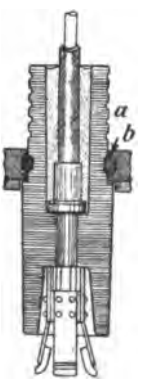


Fig. 240.

Digitized by Google

Spannungen sollte jede Phase für sich in einem Topf untergebracht werden (Fig. 241 u. 242 der General Electric Co.), oder aber es wird jede Phase in ein Mauerwerk von 70 bis 150 mm Stärke aus Backstein oder Zement eingebaut (Fig. 235[1]); Schalter für mehr als 1000 KVA sollte man nicht mehr direkt an die Bedienungstafel montieren. Es sind öfters pro Phase mehr als zwei Unterbrechungen in Oelschaltern vorgesehen worden; nach amerikanischen Erfahrungen ist es jedoch bei sachgemäßer Ausführung und einfacher Unterbrechungslänge von gegen 1 m möglich, selbst bei 80000 Volt mit zwei Unterbrechungen pro Phase vollständig auszukommen. Die Distanz der beiden Kontakte[2]) einer Phase in geöffnetem Zustande braucht kaum 1/5 bis 1/10 der bei Luft zu sein, sie ist bei zwei Unterbrechungen pro Phase für 15000 Volt und 100 Ampere Drehstrom etwa 100 mm, bei 10000 Volt und 100 Ampere etwa 80 mm. Der Abstand der Metallteile verschiedener Phasen ist in beiden Fällen 50 mm. Für 6000 Volt 150 Ampere ist die Unterbrechungslänge 2 × 60 mm und die Distanz zwischen den Kontakten verschiedener Phasen 40 mm. Höhe × Breite × Tiefe der Oelgefäße ist im letzten Fall = 300 × 400 × 230 mm; bei 100 Ampere und 15000 Volt 350 × 420 × 370 mm. Ein Schalter für 40000 und 50 Ampere hat pro

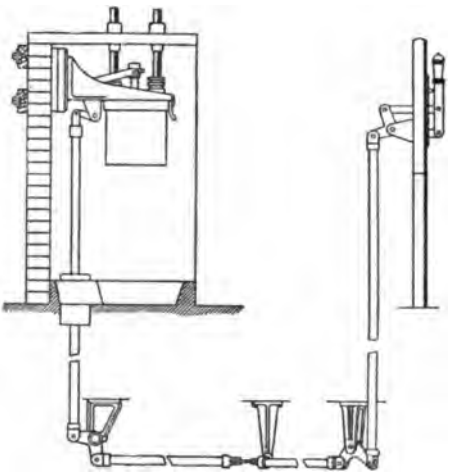


Fig. 241.

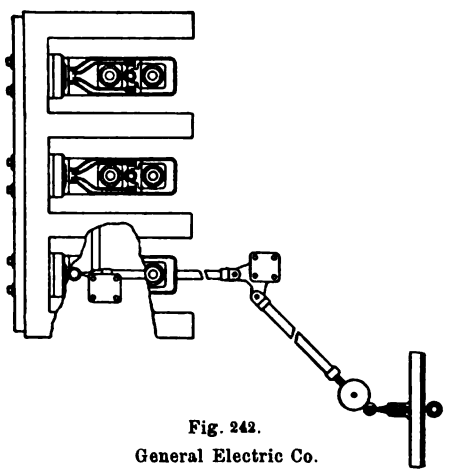


Fig. 242.
General Electric Co.

[1]) Zusammenfassend mag nochmals gesagt sein: Die General Electric Co. baut bis etwa 10000 Volt und kleine Energiemengen die Type Fig. 236, für Spannungen bis etwa 30000 Volt und kleine oder mäßige Energie dagegen die Type Fig. 242 und darüber die Type Fig. 235, die aber schon bei 6000 Volt für sehr große Leistungen vorkommt.

[2]) Unterbrechungslänge.

Digitized by Google

Phase dreimal zwei Unterbrechungen zu 150 mm; ein solcher für 60000 Volt und 100 Ampere etwa zweimal 800 mm pro Phase. Dieser letztere

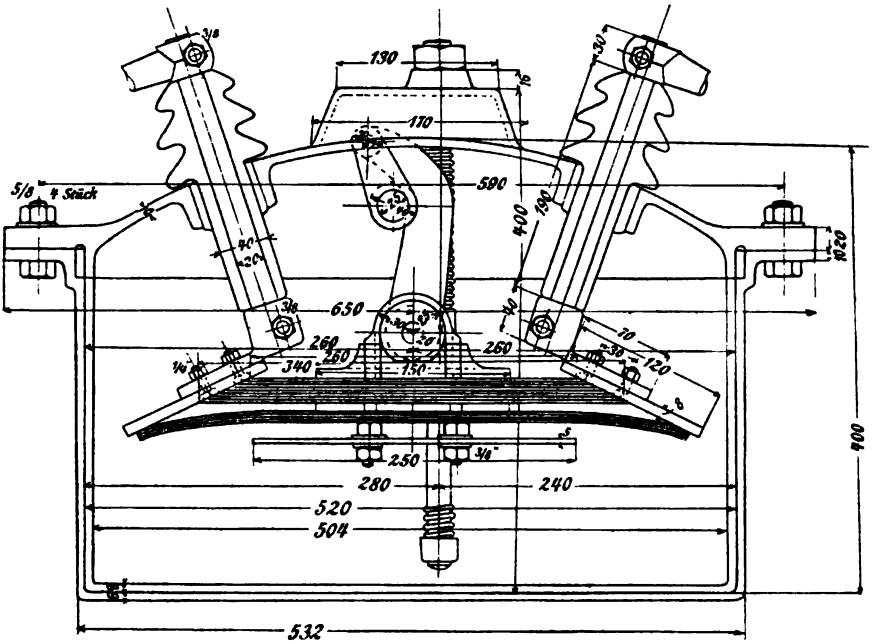


Fig. 243.

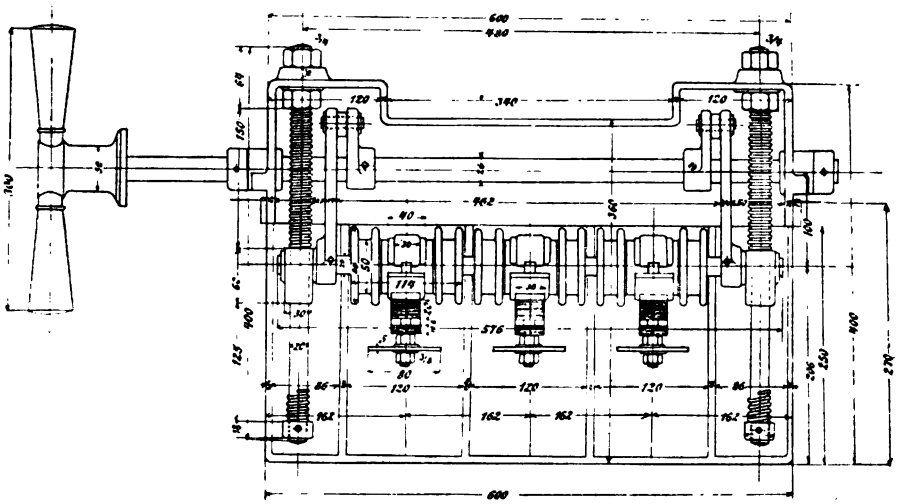


Fig. 244.
Oelschalter von Brown, Boveri & Co.

Schalter hat einen Kubikinhalt von $3 \times 3 \times 4$ m. Die beweglichen Preßkontakte, welche die Zu- und Ableitung pro Phase verbinden,

Digitized by Google

bestehen in den C. E. Brownschen Oelschaltern Fig. 243 u. 244 aus lamellierten Kupferbürsten und einem Hilfskontakt und sind auf Porzellanisolatoren aufgezogen. Die Federn bedingen eine Momentunterbrechung. Die Brettchen unter den Schaltkontakten bringen beim Ausschalten das

Fig. 245. Automatischer Oelschalter von Brown, Boveri & Co.

Oel in kräftige Zirkulation und bewirken damit ein promptes Ausschalten. Der Deckel, an dem sämtliche Kontakte befestigt sind, läßt sich leicht abheben. Im Oelgefäß sind die einzelnen hölzernen Trennungswände zwischen den Phasen deutlich zu erkennen. Die Firma Brown, Boveri & Co. benützt die Oelschalter mit Messerkontakten auch in Gleichstromanlagen mit 500 Volt. Die Isolation aller Schalter ist der Spannung

Digitized by Google

entsprechend durchweg vorzüglich in Porzellan durchgeführt. Die Unterbrechung ist bei 25000 Volt eine vierfache pro Leitung, bei 40000 Volt

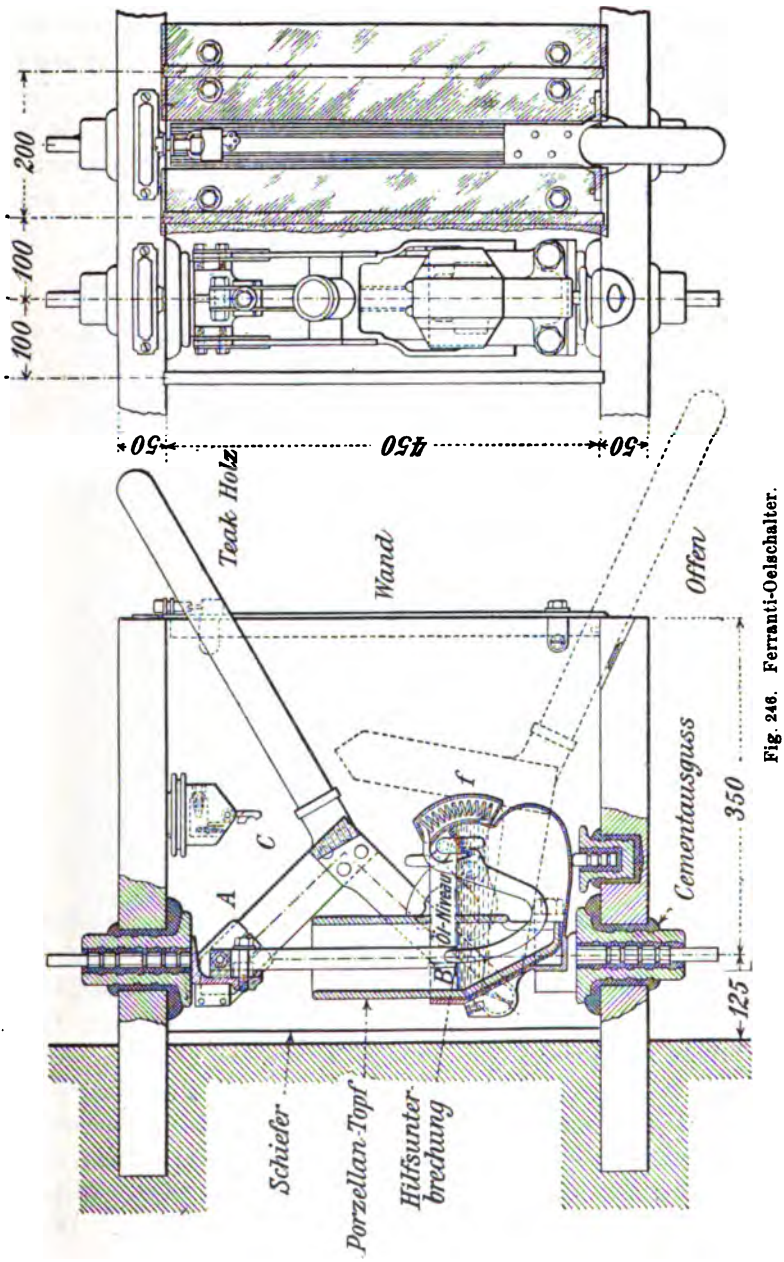


Fig. 246. Ferranti-Oelschalter.

eine sechsfache. In Fig. 245 ist von einem Oelschalter der Brown, Boveri & Co.-A.-G. für 40000 Volt der Deckel abgehoben, so daß die

Digitized by Google

ganze Konstruktion sichtbar wird. Zu jeder Phase gehört ein besonderer Oeltopf. Links oben sitzt ein Ueberlastrelais a, das bei den selbsttätigen Schaltern besprochen wird.

Der Oelschalter von Ferranti[1]) (Fig. 246), der in das früher besprochene Zellensystem (Fig. 64) paßt, hat eine Unterbrechung B unter Oel sowie einen Hauptkontakt A in Luft. Vor dem definitiven Einschalten berührt der Schalthebel einen Kontakt C zum Synchronisieren. Der V-förmige Hilfskontakt B liegt etwas über dem Oelniveau; er wird jedoch beim Unterbrechen durch die Feder f unter das Oel geschnellt.

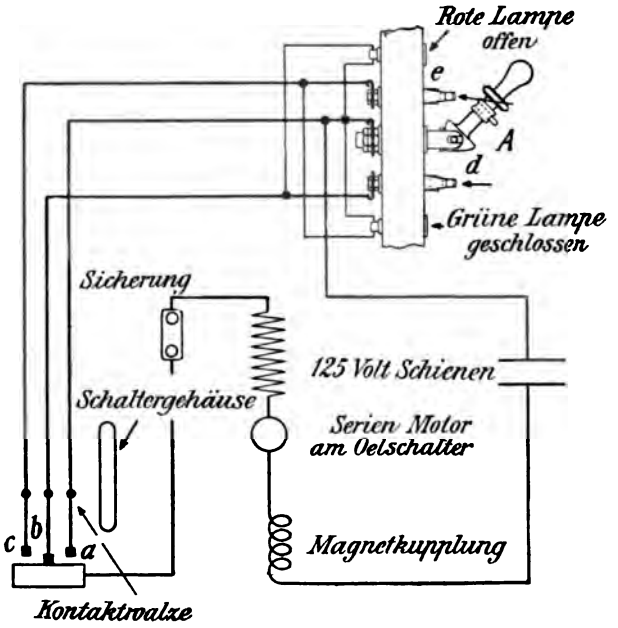


Fig. 247. Schema zu Fig. 235.

Für die höchst vorkommenden Spannungen und Leistungen hat die Gen. El. Co. den Oelschalter Fig. 235 entwickelt. Die Unterbrechung geschieht in einem Oeltopf a durch einen Stöpselkontakt. Der Strom wird von der Unterseite durch die Klemmen b zu- und abgeführt. Die Ueberbrückung zweier Töpfe erfolgt durch den Bügel c. Außer dem Stiftkontakt c ist noch ein Hauptkontakt d, der metallisch auf e paßt und der schon 10—30 mm zurückgelegt hat, wenn c den Strom öffnet, vorhanden. Jede Phase sitzt in einem gemauerten Raum, der vorn durch einen Blechdeckel mit Reiber zugänglich gemacht wird. In geöffnetem Zustande ist an den Schlußstücken c keine Spannung. Die Schalt-

[1]) Früher hat Ferranti die Oelschalter als Walze mit 2×7 in Serie geschalteten Kontakten ausgebildet (Electrician 1902, 3. Okt.); zu der Walze in Oel liegt ein kräftiger Hauptkontakt parallel, der stromlos in Luft unterbrochen wird.

Digitized by Google

bewegung geschieht mit Hilfe eines kleinen Gleichstromelektromotors f, der unter Zwischenschaltung einer Reibungskupplung g und einer Schneckenübersetzung die Auf- und Abwärtsbewegung erzeugt. Die direkte Bewegung des starken eisernen Querstücks l erfolgt durch eine Kurbel, welche sich pro Hub von einer Totlage in die andere bewegt. Die

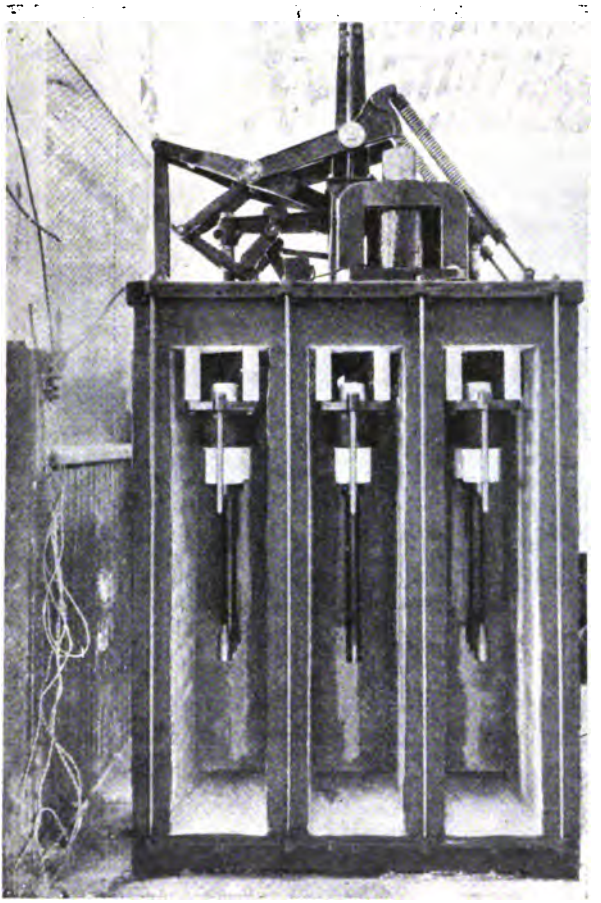


Fig. 248. Westinghouse Co.

eigentliche Schaltbewegung erfolgt sehr rasch vermittels starker Federn, die sofort in Wirksamkeit treten, sobald der kleine Motor die Kurbel über die Totlage verschoben hat. Während der Schnappbewegung bleibt der kleine Motor f zurück, was die Reibkupplung ohne weiteres gestattet. Gegen Ende der Hubbewegung, d. h. längst nach der eigentlichen Schaltbewegung, arbeitet der kleine Motor dann wieder und preßt die Federn für den nächsten Arbeitsprozeß wieder zusammen. Die Steuerung dieses Oelschalters vom Schaltbrett aus vollzieht sich nach dem Schema

Digitized by Google

Fig. 247, welches den Oelschalter zunächst in offener Stellung voraussetzt. Um den Schalter zu schließen, legt man den kleinen Hilfsschalter A nach unten (d), wo er aber festgehalten werden muß, da er sonst immer in die Mittelstellung springt. Der kleine $^1/_2$pferdige Seriemotor setzt sich dann in Bewegung und löst die Schaltfeder aus. Auf der Kurbelwelle (Fig. 235a unten) sitzt nun eine kleine Kontaktwalze V, auf der drei Federn a b c (Fig. 247) schleifen, von denen zuerst nur b metallisch auflag. Sobald der Oelschalter sich in irgend einem Sinn zu bewegen beginnt, kommt a zum Anliegen und die Schaltbewegung vollzieht sich vollständig, auch wenn der Hilfsschalter A in seine Nulllage zurückspringt. Der Kontakt c (Fig. 247) liegt auf bei geschlossenem Schalter. Oberhalb des Hilfsschalters A sitzt eine rote Lampe, die nur aufleuchtet, wenn der Oelschalter ganz offen ist, und unterhalb sitzt eine grüne

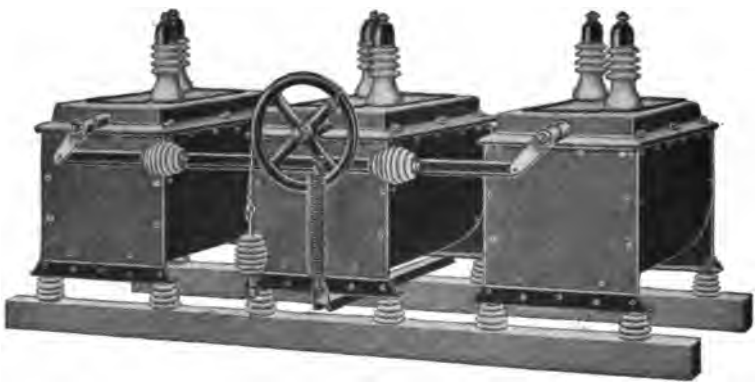


Fig. 249. Siemens-Schuckert-Werke.

Lampe, die bei geschlossenem Oelschalter aufleuchtet. Die Schaltbewegung dauert nur eine Sekunde. Beim Ausschalten wirkt nicht allein die eine Feder i, sondern noch 4 Federn h (Fig. 235). Auf die Kurbelwelle kann man einen kräftigen Hebel setzen, um den Schalter auch von Hand zu unterbrechen. Die Oelgefäße a (Fig. 235) sollten nur bis etwa 100 mm vom oberen Rand mit Oel gefüllt werden, da andernfalls leicht Explosionen auftreten. — Die Oelschalter der Westinghouse Co. haben statt des Schaltmotors einen eisengeschlossenen Schaltmagneten Fig. 248. Der Haupt- und Hilfskontakt sind hier konzentrisch ineinander angeordnet. Die beweglichen Kupferstücke haben nämlich eine Bohrung, die in einen leicht ersetzbaren Stift am festen Kontakt paßt[1]). Ueber jeden der in der Fig. 248 gezeichneten Doppelkontakte wird ein Oelgefäß aus Blech geschoben. Die aus Fig. 235 ersichtliche, gründ-

[1]) Dadurch geschieht die Unterbrechung oben im Oeltopf, bei einer Unterbrechung unten im Oeltopf überbrückt leicht der sich absetzende Schlamm die Kontakte.

Digitized by Google

lich isolierte Aufstellung der Oelgefäße ist sehr wichtig, da an den Hochspannungsölschaltern leicht gefährliche Ladeerscheinungen auftreten. Die äußeren zugänglichen Gehäuse sind zu erden.

Die Siemens-Schuckert-Werke (Fig. 249) und viele andere europäische Firmen kombinieren für hohe Spannungen und Drehstrom drei einpolige Oelschalter je in besonderem Topf miteinander. Fig. 249 ist für 30000 Volt und 200 Ampere bestimmt. Es werden z. B. für 35000 Volt pro Phase 10 Unterbrechungen vorgesehen und jede Phase erhält einen Oeltopf 700 × 500 × 300 mm.

Die kleineren Oelschalter zum direkten Anbau an die Schalttafel hat die Westinghouse Co. nach Fig. 250[1]) ausgebildet: Ueber zwei Phasen ist das Oelgefäß geschoben, an der dritten ist es abgenommen.

Fig. 250. Westinghouse Co.

Die verschiedenen Kontakte eines Oelschalters sollten stets horizontal nebeneinander, nicht vertikal übereinander aufgebaut werden, da im letzten Fall das Oel ein Ueberschlagen von Phase zu Phase befördert. Die bekannten Kontroller-Walzenumschalter sollte man deshalb nur mit Vorsicht unter Oel legen.

Hewlet zählt folgende Vorteile des Oelschalters für Hochspannung auf:

1. Er unterbricht im Nullpunkt den Stromkreis, so daß in langen Fernleitungen und Kabelnetzen keine Spannungssteigerungen auftreten;
2. Oelschalter können für beliebig große Leistungen und Spannungen gebaut werden;
3. der Lichtbogen fällt unter Oel nur kurz aus;
4. die gute Isolation des Oels verringert die Abstände zwischen den einzelnen Phasen und die Schaltdistanz;
5. Oelschalter werden sehr kompakt;
6. sie können bequem von der Ferne gesteuert werden;
7. Oelschalter können nahe aneinander montiert werden, ohne Kurzschlüsse befürchten zu müssen, in schwierigen Fällen stört überdies die Lichtbogenbildung im Schalter den Schalttafelwärter nicht;
8. die Anpassungsfähigkeit des Oelschalters erlaubt stets, die Schaltanlage in zweckmäßigster Weise aufzubauen;
9. Die Phasen können innerhalb eines annehmbaren Raumes vollständig gegeneinander isoliert werden.

[1]) An dieser Abbildung ist die erwähnte konzentrische Bohrung im Hauptkontakt zu sehen.

Digitized by Google

Der gedrängte Oelschalter kann z. B. ohne weiteres auch in einen unterirdisch verlegten Kasten eingebaut werden, wie das aus Fig. 251 zu entnehmen ist. Selbst in feuergefährlichen Räumen dürfte der luftdicht abgeschlossene Oelschalter allein zulässig sein.

Beim Aufbau des Oelschalters ist darauf zu achten, daß die Ausführungen genügend weit auseinander liegen, um ein Ueberschlagen zu vermeiden. Die Isolatoren und Isolationsbüchsen sollen aus Porzellan

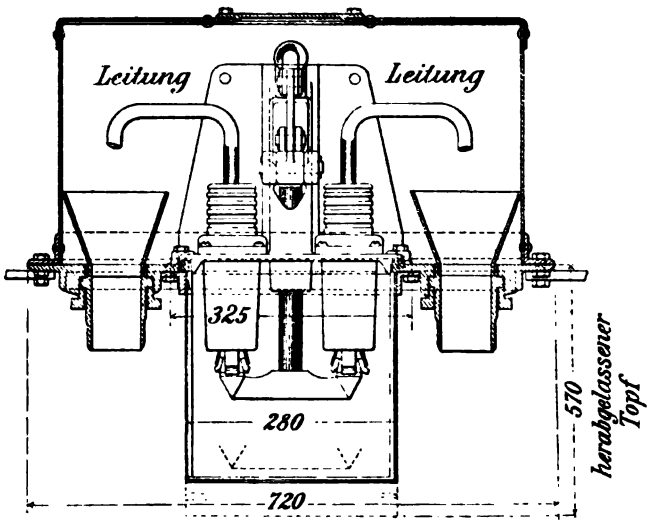


Fig. 251.

(Glas) bestehen. Die stromführenden Teile sollten gegen Gestell mit einer Spannung, die mindestens gleich der doppelten Arbeitsspannung ist, geprüft werden.

Das für Oelschalter benützte Hartholz (Ahorn) sollte mehrere Tage in einem Ofen bei 50—70° getrocknet werden, anschließend kommt es bei geeigneter Temperatur in einen Vakuumofen, wo zum Schluß flüssiges Harz unter Druck eingetrieben wird. In manchen Fällen kann Harz durch Paraffin ersetzt werden. Die General Electric Co. setzt die einzelnen Töpfe ihres 60 000 Volt-Schalters auf etwa 1 m hohe, gerillte Hartholzsäulen, die wie eben behandelt sind. Besondere Sorgfalt erfordert ferner die Auswahl und die Befestigung der Porzellanteile. Nach Fig. 239 wird der Ausführungsisolator mit dem Gußeisenkörper mittels einer Legierung aus 9 Teilen Blei und 1 Teil Antimon vergossen. Die eingelötete Leitung wird innerhalb des Isolators mit einer Compoundmasse umgossen. Die Kontakte Fig. 239 sind für 750 Ampere, die in Fig. 240 nur für 100 Ampere bemessen. Die Oelfüllung ist im Gefäß durch eine rote Randlinie zu markieren.

Digitized by Google

Werden die Schalter nicht direkt an der Schaltwand montiert, so erfordert ihre Betätigung ein Gestänge nach Fig. 241 u. 242 oder Fig. 48, sofern nicht elektrischer Antrieb vorgezogen wird. Das Gestänge kann aus Gasrohr bestehen, häufig fügt man eine Stange aus gut imprägniertem Hartholz ein (Fig. 47a).

Die Leistung eines Schalters hängt nicht allein von der normalen Stromstärke und Spannung ab, sondern auch von der Art der Netzbelastung, also z. B. von der Phasenverschiebung, obwohl untererregte Synchronmotoren kaum schwieriger abzuschalten sind wie Wasserwiderstände. Dagegen kann das Ein- und Ausschalten von unbelasteten Transformatoren und von Drosselspulen sowie von langen Leitungen und Kabelnetzen zu Schwierigkeiten Veranlassung geben. Auch für solche Fälle ebensowie zur Unterbrechung von kurzgeschlossenen oder außer Tritt gefallenen Generatoren genügen die Oelschalter vollständig.

Für die Beanspruchung des Schalters ist bezüglich Erwärmung das mittlere Quadrat der Stromstärke J, aber auch der im schlimmsten Falle bei Kurzschlüssen auftretende Strom, der eventuell Schalterteile zum Abschmelzen bringt, maßgebend, für die Funkenbildung die zwischen den beweglichen Schalterkontakten auftretende Spannung E, die von Null bei geschlossenem Zustand auf ein Mehrfaches der Netzspannung ansteigen kann, je nach der Beschaffenheit des Stromkreises. Die Spannung an den Schalterklemmen ist die Summe: Nicht anderweitig aufgezehrte Netzspannung + Extraspannung, hervorgerufen durch die mit dem Ausschalten verknüpfte Stromänderung und die Selbstinduktion des gesamten Stromkreises. Die erforderliche Oeffnungsweite scheint mit dem Strom J, aber etwa mit dem Quadrat der Spannung E, also nicht mit dem Effekt $E \times J$ zu wachsen. Es wird z. B. derselbe Oelschalter tatsächlich verwendet für

100	Ampere . . .	10000	Volt	und
300	„ . . .	7000	„	oder für
750	„ . . .	5000	„	

(siehe Fig. 239 u. 240), wobei nur die stromführenden Kontakte der Stromstärke angepaßt werden. Die Länge des stehenbleibenden Lichtbogens ist nur 1/3 bis 1/5 des Unterbrechungsfunkens. Bei doppelter Unterbrechung wird dieser Funke in der Regel wesentlich, auf weniger als die Hälfte gekürzt. Bei 300 Volt und 21 Ampere ist der einfache Unterbrechungsfunke 11,5 cm, bei doppelter Unterbrechung nur 4,5 cm. Gleichstrom gibt bei gleichem Strom und gleicher Spannung mehr zur Funkenbildung Anlaß als Wechselstrom.

Das Schema Fig. 117 soll noch ein Bild darüber geben, wieviel Oelschalter in einer großen Drehstromzentrale aufgestellt werden. Jeder der acht Generatoren zu 5000 KW. und 6600 Volt (Manhattan,

Digitized by Google

Newyork) hat drei Schalter, zwei davon zur wahlweisen Umschaltung auf die beiden Sammelschienen. Die Sammelschienen sind je durch Doppelschalter in zwei Abschnitte getrennt. Vermittels 4×4 Schaltern werden acht Speisesammelschienen nach Belieben verbunden. In den Unterstationen sitzt vor und hinter den einzelnen stark unterteilten Sammelschienen je ein Satz Oelschalter.

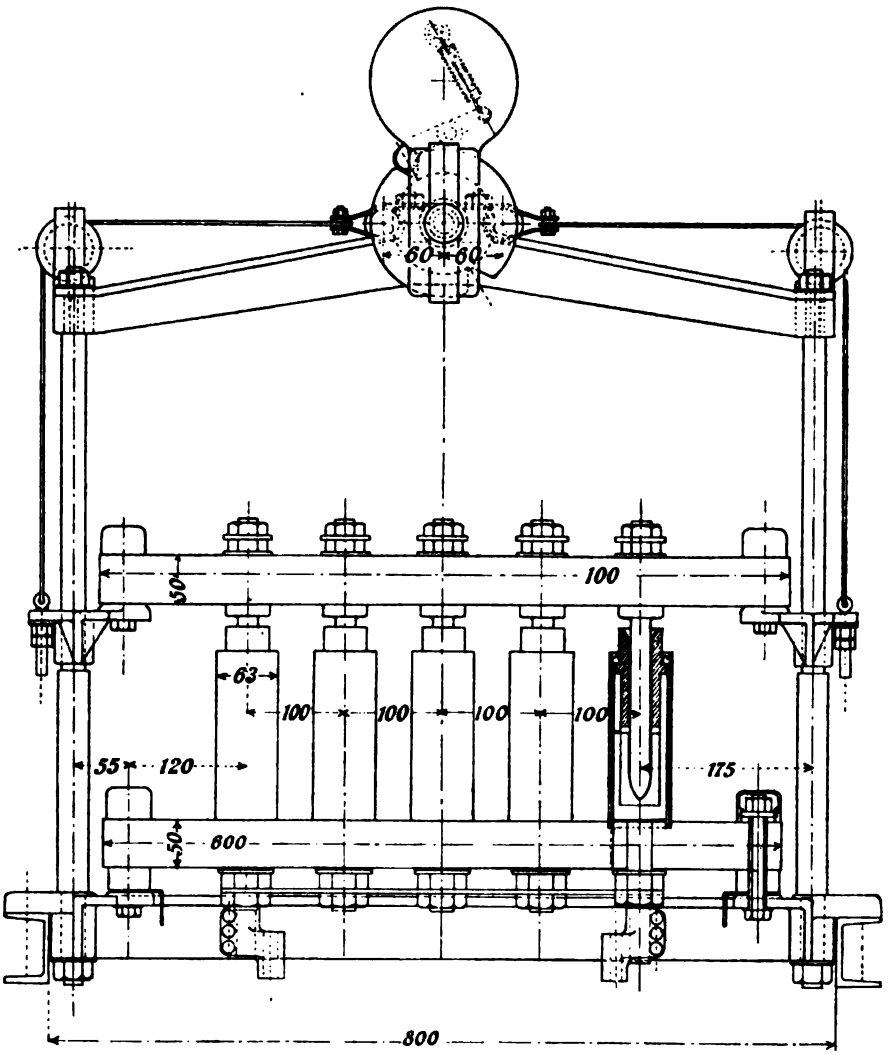


Fig. 252. Quecksilberschalter von Ganz & Co.

13. Spezialschalter.

Zum Schluß erwähne ich noch einige Spezialentwürfe von Hochspannungsschaltern: Der Unterbrechungsfunke läßt sich selbstverständlich auch dadurch redu-

Digitized by Google

zieren, daß man die Stromstärke vor dem Abschalten annähernd auf Null reduziert. Das könnte man wohl vermittels großer, aber teurer Widerstände ausführen, z. B. auch vermittels Wasserwiderständen oder mit Hilfe von Drosselspulen, deren Selbstinduktion andererseits die Funkenbildung begünstigen kann. Ferranti benützt jedoch in origineller Weise Aluminium- oder Chromzellen, welche die Eigenschaft besitzen, ihren Widerstand mit der an sie gelegten Spannung plötzlich zu verändern. Bevor man den Stromkreis unterbricht, schaltet man diese Zellen ein, deren Widerstand zunächst praktisch Null ist. Sobald aber ihre Klemmenspannung pro Zelle unter einen gewissen kritischen Wert sinkt, so wird der Widerstand hoch und reduziert die Abschaltstromstärke auf ein Minimum. Das Ab- und Zuschalten von Aluminiumzellen führt Ferranti mit Hilfe eines Oelschalters aus.

Die Firma Ganz & Co. hat längere Zeit mit Erfolg in ihren Drehstromzentralen Quecksilberausschalter benützt. Der in Fig. 252 gezeichnete Schalter ist in der Zentrale Rom-Tivoli für 10000 Volt und 200 Ampere eingebaut. Der Stromkreis wird dadurch geschlossen, daß Metallstifte, die ganz ähnlich wie in Röhrenschaltern angeordnet sind, Quecksilbernäpfe, deren Grund an den zu verbindenden Leitungen liegt, überbrücken. Die Unterbrechung ist gleichzeitig eine vielfache pro Phase.

Statt des Quecksilbers kann man auch andere Flüssigkeiten, z. B. Wasser[1]) (Fig. 253), verwenden: Außer dem Hauptkontakt B ist ein Nebenkontakt C vorhanden, der in einen mit Wasser gefüllten Topf A taucht, und in diesem erfolgt die definitive Unterbrechung.

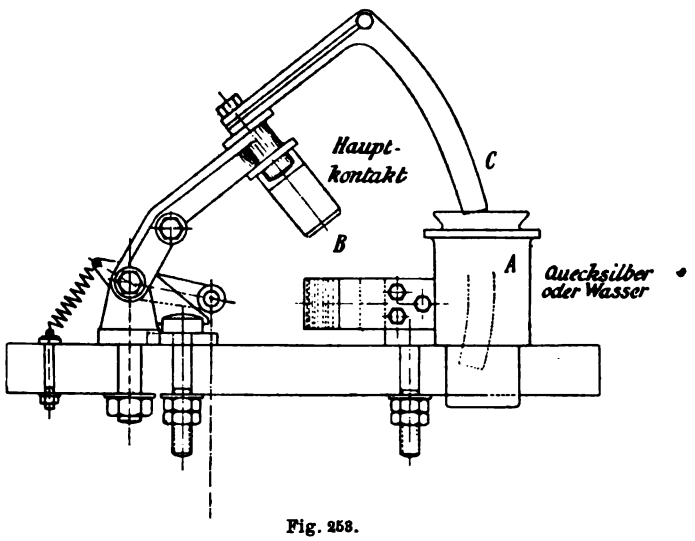


Fig. 253.

Die Schalter sind ebenso wie die übrigen Apparate zu normalisieren, z. B. für Spannungen bis 250, 750, 3000, 10000, 30000 Volt und dann für die höheren Spannungen, ebenso für Stromstärken bis 2, 4, 6, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 200, 400, 700, 1000, 2000 Ampere etc.; Zwischentypen sind nicht zu bauen. Fertige

[1]) Siehe auch Fig. 73a.

Digitized by Google

Schalter sind mit einer geeigneten Ueberspannung, etwa der doppelten Betriebsspannung, mindestens aber 1000 Volt Wechselstrom 5 Minuten lang zwischen den Klemmen in offener Stellung zu prüfen, eventuell ist auch eine Probe mit 25—50 % Ueberstrom, sowie ein probeweises Ausschalten mehrere tausend Male am Platz.

14. Umschalter.

Die Umschalter unterscheiden sich in konstruktiver Hinsicht nicht von den gewöhnlichen Schaltern, es wird einfach ein zweiter Satz fester Kontakte hinzugefügt und der bewegliche Kontakt beiderseitig gleich ausgeführt. Besonders wichtig ist die Festlegung der Ausschalte- oder

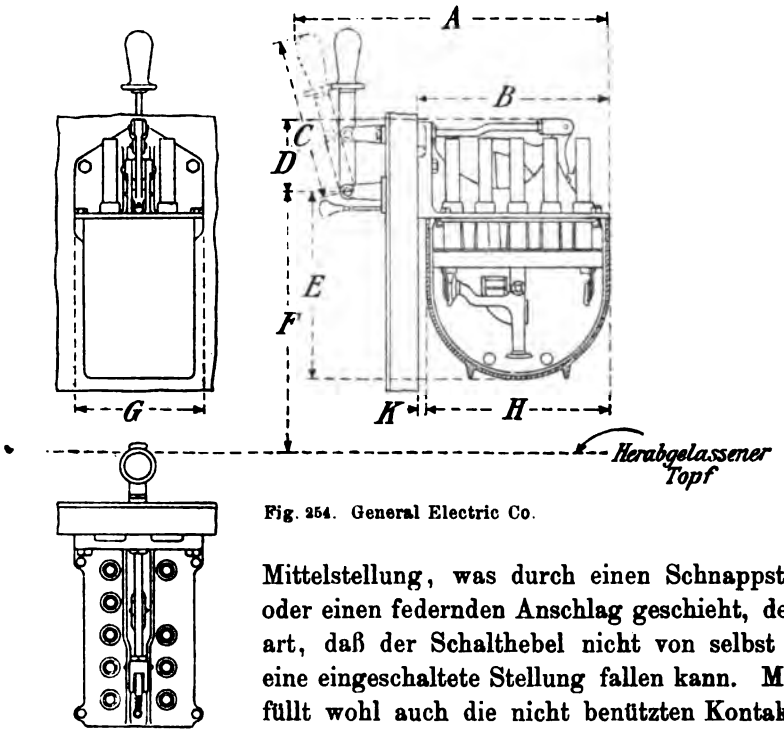


Fig. 254. General Electric Co.

Mittelstellung, was durch einen Schnappstift oder einen federnden Anschlag geschieht, derart, daß der Schalthebel nicht von selbst in eine eingeschaltete Stellung fallen kann. Man füllt wohl auch die nicht benützten Kontakte mit Stöpseln aus imprägniertem Holz aus. Der dreiphasige Oelumschalter Fig. 254 der General Electric Co. für 2500 Volt und 150 Ampere hat Reibkontakte und folgende Hauptmaße in mm: A = 600, B = 390, C = 240, D = 150, E = 360, F = 660, G = 315, H = 360.

Für Hochspannung bildet man die Umschalter häufig als Kombination zweier einfacher Schalter aus, die man gegenseitig verriegelt.

Digitized by Google

Eine solche gegenseitige Sperrung empfiehlt sich auch zwischen dem Hauptschalter und dem Erregerschalter für Drehstrommaschinen. — Ein Umschalter, der gestattet, ein Dreileiternetz sowohl mit Hilfe von Gleich-

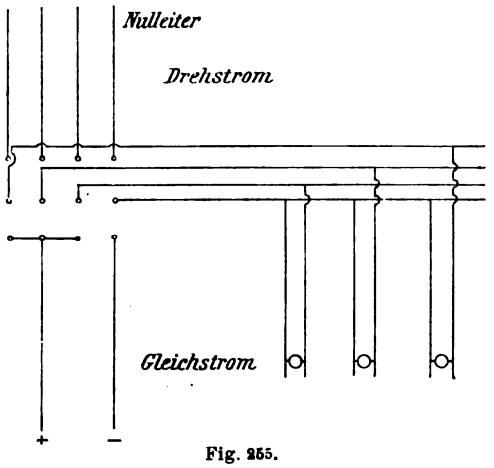


Fig. 255.

strom als von Drehstrom zu speisen, ist in Fig. 255 abgebildet (A. E.-G., D. R.-P. 105981).

Um mit Hilfe eines einzigen Voltmeters eine größere Anzahl Span-

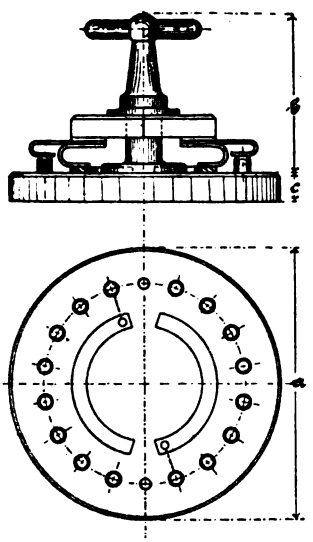


Fig. 256.

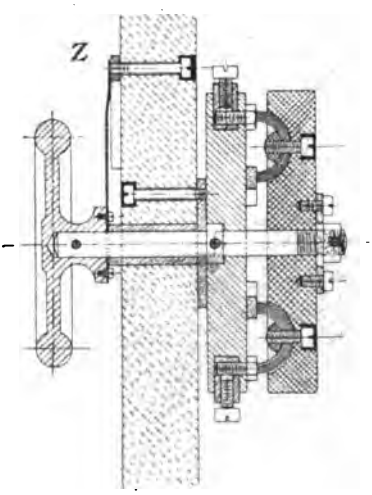


Fig. 257.

nungen verschiedener Generatoren und Speiser messen zu können, benötigt man vielstufige Voltmeterumschalter, die man zweipolig ausführen sollte, und die bei Hochspannung, selbst wenn sie in Niederspannungs-

Digitized by Google

kreisen von Meßtransformatoren liegen, was immer anzuraten ist, hinter der Schalttafel liegen sollten. Auf solide Ausführung der Kontakte ist zu achten, womöglich ist eine Schnappbewegung von Stufe zu Stufe einzurichten. Der Voltmeterumschalter Fig. 256 von Voigt & Häffner mit einem Außendurchmesser $a = \sim 250$ ist für Spannungen bis 500 Volt bestimmt. Recht zuverlässig ist der Voltmeterumschalter Fig. 257 von Erlacher gebaut. Vor der Schalttafel ist ein Zeiger angeordnet, der die verschiedenen Stellungen markiert.

Auch für Strommesser kann man solche Umschaltevorrichtungen ausführen, wobei in den einzelnen Leitungen nur Nebenschlüsse vor-

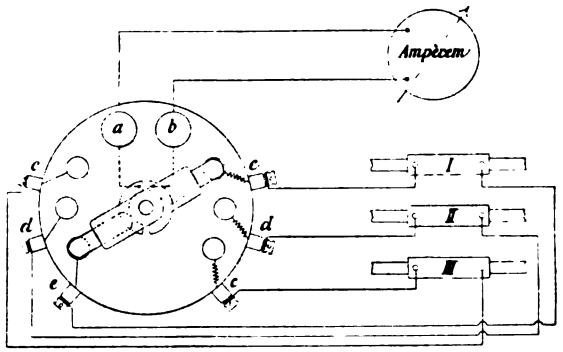


Fig. 258. Siemens & Halske.

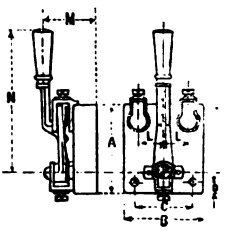


Fig. 259.
Siemens & Halske.

zusehen sind (Fig. 258), die alle mit demselben Amperemeter verbunden sind. Dabei ist streng darauf zu achten, daß alle Nebenschlüsse in denselben Pol eingeschaltet werden, da sonst Kurzschlüsse unvermeidlich sind. In Fig. 232 ist zum gleichen Zweck bereits ein sehr beachtenswerter Stöpselschalter angegeben, der dasselbe Ammeter in verschiedene Leitungen ohne Benützung von Nebenschlüssen schaltet. Der Umschalter Fig. 259 ist einpolig und zur stromlosen Schaltung von etwa 25 Ampere für Meßzwecke bestimmt: $A = 88$, $B = 75$, $C = 51$, $D = 12$, $L = 25$, $M = 50$, $N = 140$ mm.

Fig. 260.

Zu der Gruppe der Umschalter gehören auch die Wahlschalter, die es z. B. ermöglichen, beliebige Generatoren oder Speiser an eine bestimmte Sammelschiene zu legen, oder dieselbe Leitung an verschiedene Sammelschienen (Fig. 260 von S. Bergmann). Der Schalthebel muß dabei um zwei senkrecht zueinander stehende Achsen drehbar sein.

Digitized by Google

III. Sicherungen.

Die Sicherungen teilen sich in

1. Stöpselsicherungen oder Patronensicherungen,
2. Streifensicherungen,
3. Röhrensicherungen,
4. Hörnersicherungen,
5. Oelsicherungen.

15. Sicherungspatronen und Streifensicherungen.

Bei den Sicherungspatronen Fig. 261 bis 266, die nur für Spannungen bis 500 Volt und gegen 100 Ampere gebaut werden, wird der

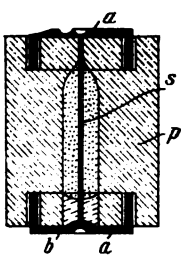


Fig. 261.

Fig. 262.

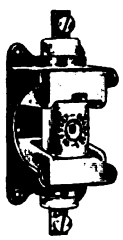


Fig. 264.

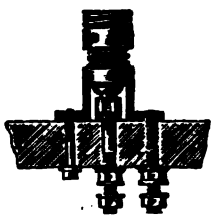


Fig. 266. A. E.-G.

Fig. 263. Siemens & Halske.

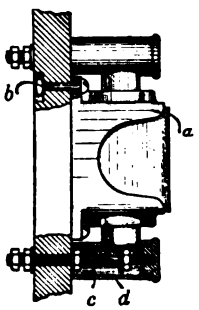


Fig. 265.

Schmelzstreifen oder Schmelzdraht s (Fig. 261) [1]) von einer plastischen Masse (Zement, Gips oder ähnlichem) umgossen; nur auf kurzen Strecken

[1]) Aus D. R.-P. 140730.

Digitized by Google

ist der Draht durch Fenster freigelegt oder von einer losen Masse, z. B. Asbestmehl, umgeben. Die Stöpsel der A. E.-G. (Fig. 266) werden wie Glühlampenfassungen eingeschraubt, und zwar ist die Gewindelänge für verschiedene Stromstärken verschieden, so daß ein Stöpsel für eine größere Schmelzstromstärke, als dem Sockel entspricht, nicht verwendbar ist, da der betreffende Stöpsel nicht den Sockelgrund erreicht, wo erst der zweite Anschlußkontakt liegt.

In Fig. 267 sind nebeneinander zwei Stöpsel für 2 und für 20 Ampere von Hundhausen (D. R.-P. 121365) gezeichnet. Der Streifen s ist in Pulver eingebettet, das Gewinde ist für verschiedene Stromstärken verschieden lang und der Sockel hat verschieden hohe Ansätze r.

Die Stöpselfassungen sind vom Verband deutscher Elektrotechniker normalisiert.

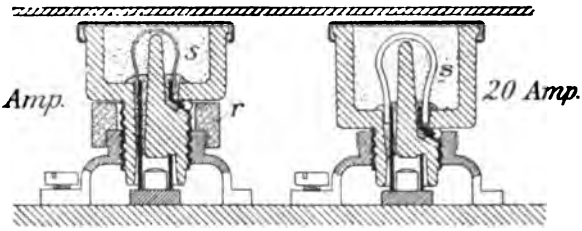


Fig. 267.

Die Sicherungspatronen von Siemens & Halske (Fig. 262 bis 265) werden zwischen zwei schwach geneigte Flächen gepreßt, wobei die Unverwechselbarkeit dadurch erzielt wird, daß der eine Anschlußkontakt verschiedene Formen und Abmessungen besitzt (Fig. 262 u. 263). Die Schmelzdrähte aus Silber liegen ihrer ganzen Länge nach in einer Pulvereinbettung (Talkum) im Innern des völlig abgeschlossenen Patronenkörpers aus Porzellan. Parallel zum Schmelzdraht ist ein nach außen sichtbarer Kenndraht angeordnet, an dem zu erkennen ist, ob die Sicherung intakt ist oder nicht. Der Einbau der Patrone in ein gußeisernes Sicherungsgestell ist deutlich aus Fig. 265 zu ersehen. Die Abdeckung der Klemmen erfolgt durch eine isolierende Schutzhülse d. Zum Einsetzen der Patrone ist ein besonderer Schlüssel vorhanden[1]).

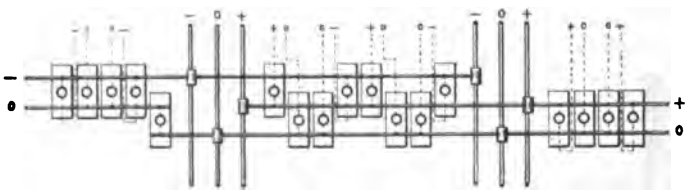


Fig. 268.

[1]) Der Schmelzraum der Patronen von Siemens & Halske (D. R.-P. 156026) ist im Innern des Porzellankörpers mit einem eingeschobenen und eingekitteten

Digitized by Google

Die Patronensicherungen werden gewöhnlich auf einer Verteilungstafel nach Fig. 268 zentralisiert, die für Zweileiterabzweigungen von einem Dreileiternetz dient. Ein wasserdichter Sicherungskasten von Voigt & Häffner ist in Fig. 269 offen und geschlossen abgebildet.

Fig. 269. Voigt & Häffner.

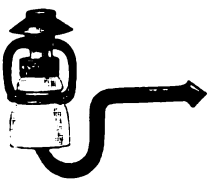


Fig. 270. A. E.-G.

Für Freileitungen montiert man die Patronen oder Stöpsel auf Isolatoren und ordnet ein Schutzdach an (Fig. 270 der A. E.-G.).

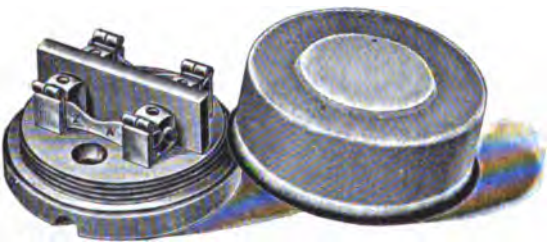


Fig. 271.

Der Schmelzstreifen von Streifensicherungen (Fig. 271 bis 275)[1]) besteht aus Blei, Stanniol, Silber (teuer), Aluminium (schlecht), Kupfer

Glasrohr ausgekleidet, welches bei der Explosion nicht zerstört wird, und ist gegen das Schauloch abgeschlossen. Der Zustand des Schmelzfadens ist somit von außen trotz des explosionsfesten Abschlusses der Patrone erkennbar. Um auch bei der üblichen Füllung des Schmelzraumes mit indifferenten Stoffen den Schmelzfaden beobachten zu können, liegt der Schmelzfaden vor dem Schauloche an der Glaswand dicht an und wird durch einen Propfen oder auch durch die Füllung in seiner Lage erhalten.

[1]) Siehe auch die Abbildungen von Sicherungen in Niethammer, Hebezeuge Fig. 68 ff.

Digitized by Google

oder irgend einer Blei und Zinn enthaltenden Legierung[1]), z. B. 3 Blei + 2 Zinn oder 5 Blei + 3 Zinn + 8 Wismut. Silber spritzt nicht und bleibt an der Luft dauernd unverändert. Der Streifen besitzt entweder

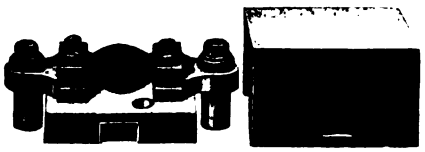


Fig. 272. Schuckert.

einen bandförmigen (Fig. 274) oder drahtförmigen (Fig. 273) Querschnitt und eine Dicke bezw. einen Durchmesser pro Streifen von 0,5—4 mm.

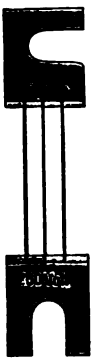


Fig. 273.

Fig. 274.

Er ist an beiden Enden mit Messingschuhen oder einer Oese versehen, die unter die Anschlußbolzen geklemmt werden (Fig. 275).

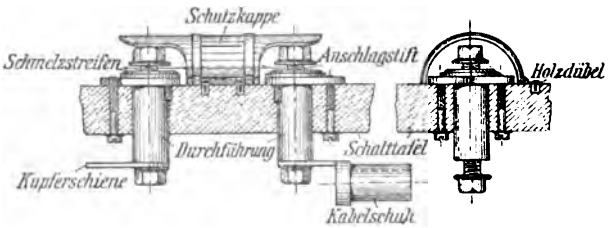


Fig. 275. A. E.-G.

Bildet man den Streifenhalter als Messer aus, so paßt dieses auf eine federnde Klemme (Fig. 271). Der von Schuckert ausgeführte Streifen (Fig. 272) ist bei starker Unterteilung beiderseits ausgebaucht und schmilzt bei entsprechendem Ueberstrom oder Kurzschluß in sehr zuverlässiger Weise durch. Dünne Blei- und Zinn-(Stanniol-)streifen werden

[1]) Z. B. auch Britanniametall.

Digitized by Google

wohl auch einfach zur Versteifung auf Fiberstreifen geklebt. Schutzdeckel auf den Sicherungen müssen aus feuersicherem Material bestehen; bei großen Stromstärken vermeidet man Schutzdeckel ganz.

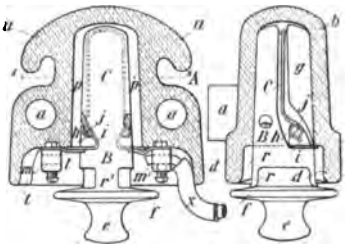


Fig. 276.

In der Freileitungssicherung Fig. 276 der Gen. El. Co. Schenectady nach dem E. P. 9810 v. J. 1903 ist der Sicherungsstreifen c über einen ausziehbaren Porzellangriff gelegt, der in einen Porzellanisolator eingeschoben werden kann. Eine ähnliche auswechselbare Ausschaltsicherung hat die Siemens & Halske-A.-G. nach Fig. 277 für die Berliner Hochbahn gebaut. Der Sicherungsstreifen Z ist dabei der Einwirkung des Blasmagneten K ausgesetzt. Die Bestandteile dieser Sicherung sind in der folgenden Stückliste zusammengestellt:

Stückliste.

Bezeichnung	Gegenstand	Material	Anzahl
A	Polwange	Gußeisen	1
A_1	„	„	1
B	Schraube mit Federn der Unterlagscheibe	Schmiedeeisen	2
C	Magnetkern mit 2 Muttern und Unterlagscheibe	„	1
D	Bolzen	Messing	2
D_1	Mutter mit je einer federnden Unterlagscheibe	Schmiedeeisen	4
E	Zwischenstück	Asbestonit	1
F	Stöpsel	Temperguß mit Asbest umpreßt	1
G	Platte	Asbestonit	2
H	„	„	2
I	Hülse	„	1
K	Magnetspule	Kupferlitze	1
L	Kabelschuh	Messing	3
M	Kontaktbock	„	2
N	Schraube mit Unterlagscheibe .	Rotguß	2
O	Schraube mit Mutter, Unterlagscheibe und Splint	Messing	2
P_1	Kontaktstück	Rotguß	4
P_2	„	„	4

Digitized by Google

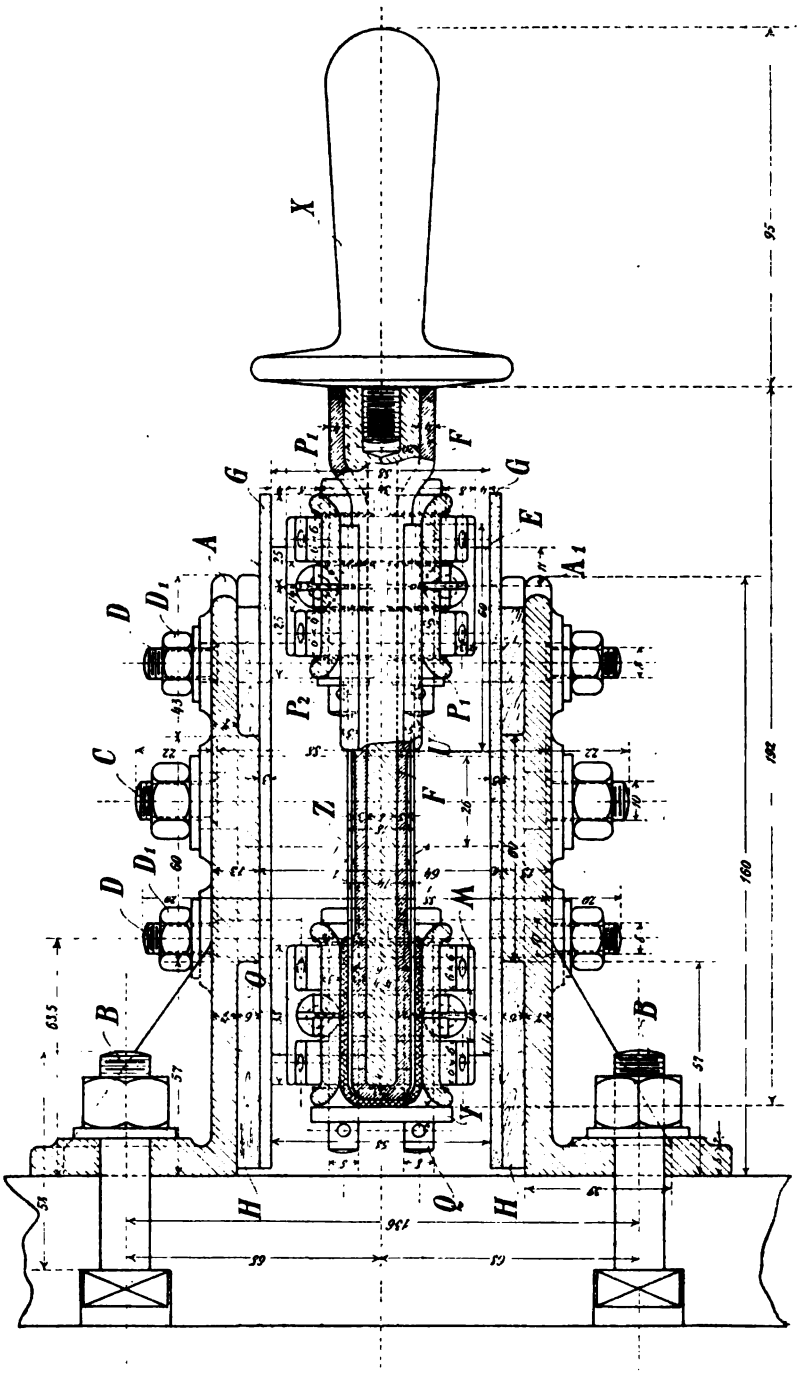


Fig. 277. Siemens & Halske.

Digitized by Google

Bezeichnung	Gegenstand	Material	Anzahl
Q	Bolzen m. Splint u. Unterlagscheibe	Kupfer	4
R	Feder	„	8
S	„	Stahl	16
T	Schraube	Messing	8
U	Kontaktblech	Kupfer	2
U_1	„	„	1
V	Gewindehülse	Messing	1
V_1	Schraube	„	8
W	Gewindehülse	„	1
X	Griff	Ambroin	1
Y	Anschlagplatte	Messing	1
Z	Schmelzstreifen	Blei	2

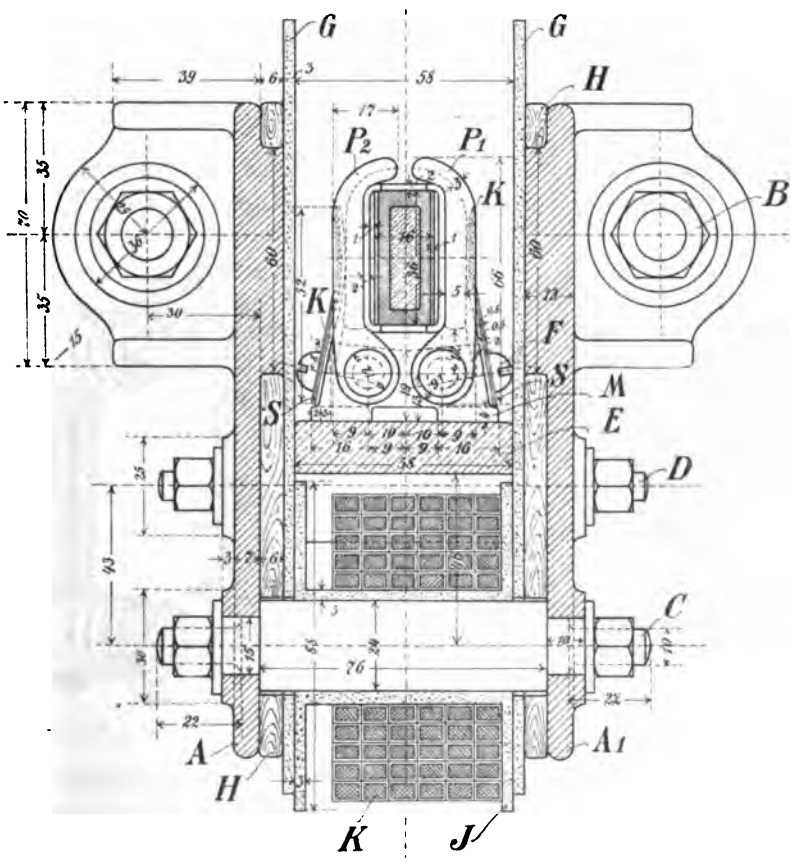


Fig. 277. Siemens & Halske.

Digitized by Google

16. Hochspannungssicherungen.

Für Hochspannung ist die Röhrensicherung Fig. 278 bis 280 sehr verbreitet: In einer beiderseits offenen Hülse aus Porzellan, Ton, Glas oder anderem isolierenden Material verläuft einer oder mehrere Schmelz-

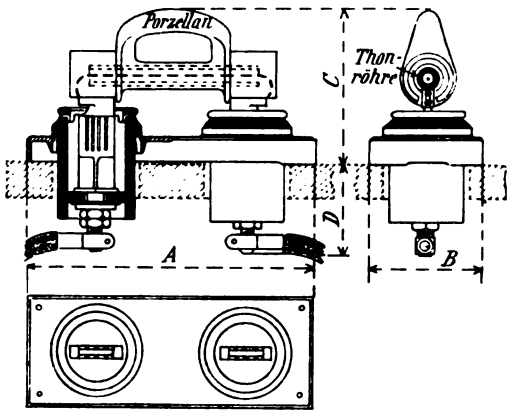


Fig. 278. Siehe auch Fig. 167.

drähte (Fig. 278). Beim Abschmelzen dringen die Verbrennungsgase vermöge der Drucksteigerung mit großer Heftigkeit aus den Enden der

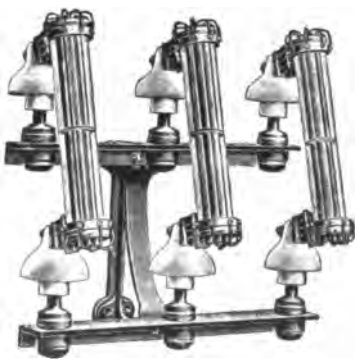


Fig. 279. Siemens & Halske.

Fig. 280. Voigt & Häffner.

offenen Röhre, die meist vertikal oder wenig (15°) geneigt montiert wird, und löschen den Lichtbogen sofort aus. Es ist darauf zu achten, daß in Richtung der austretenden Gase keine blanken stromführenden Teile liegen. Man vereinigt wohl auch eine Reihe Isolierröhren, z. B. aus

Digitized by Google

Fiber, mit je einem Schmelzdraht in einem großen Glasrohr (Fig. 279). Die einzelnen Schmelzdrähte der Fig. 279 sind an einen Metallring geschraubt. Dieser läuft in ein Messer aus, das in eine auf einem Isolator befestigte Klemme paßt. In Fig. 278 ist ein 10 mm weites Tonrohr in einen Porzellanträger mit Handgriff und Klemmen eingebaut.

Oefters wird das Sicherungsrohr nach Fig. 281 bis auf einen kurzen offenen Streifen mit einem Pulver aus feuersicherem Material (Asbestmehl, Marmorstaub, Sand), das den Lichtbogen ersticken soll, ausgefüllt.

Fig. 281.

Der Sicherungsstreifen in Fig. 281 durchsetzt nicht das ganze Glasrohr, an beiden Enden sind längere Kupferdrähte angelötet, welche die Verbindung zu den Messingkappen herstellen. Diese Sicherungstype wird vielfach für Meßstromkreise verwendet.

Zwischen die einzelnen Sicherungen verschiedener Phase schiebt man häufig isolierende Trennwände ein, siehe Fig. 282, worin überdies

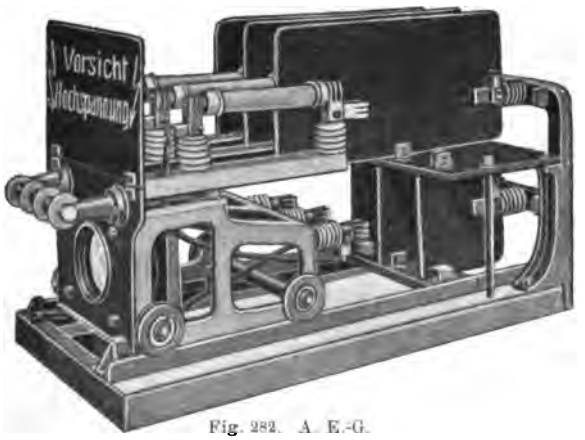


Fig. 282. A. E.-G.

die Sicherungen zum gefahrlosen Ersatz ausfahrbar angeordnet sind. In England ist es üblich, die Sicherungsdrähte für Hochspannung in sehr lange Röhren von 1 m Länge und mehr einzuziehen. Fig. 43 zeigt eine solche Sicherung der Westinghouse Co. für 20000 Volt. Der Sicherungsstreifen ist in das Rohr x eingezogen und geht dann durch ein Kohlenstück in den freien Streifen z über, dessen Ende in einem Kohlenstück an der Holzstange y befestigt ist. Beim Durchschmelzen

Digitized by Google

des Drahtes z fällt der Arm x nach unten, indem er einen langen Lichtbogen zieht.

Die Röhrensicherungen kann man mit einer besonderen Isolierzange, die man zweckmäßig zuverlässig erdet, nach Fig. 283 von Siemens & Halske einsetzen und herausnehmen. Die Sicherung Fig. 278 hat zum bequemen Einsetzen einen Griff und die Sicherung Fig. 280 ist speziell unter Strom ausschaltbar eingerichtet; man dreht erst den oberen Kontakt heraus, wobei der Lichtbogen von den Hörnern aufgenommen wird. Die Gen. El. Co. spannt den Sicherungsstreifen in ihrer sogenannten Expulsionstype (Fig. 284) beiderseits durch Federn f, welche den Schmelzstreifen s beim Durchschmelzen auseinander reißen.

Fig. 283.

In Fig. 285, einer englischen Sicherung, schnellt eine Feder S eine Isolierwand B zwischen den Lichtbogen. Die Ausbildung des Lichtbogens läßt sich dadurch hintanhalten, daß man in

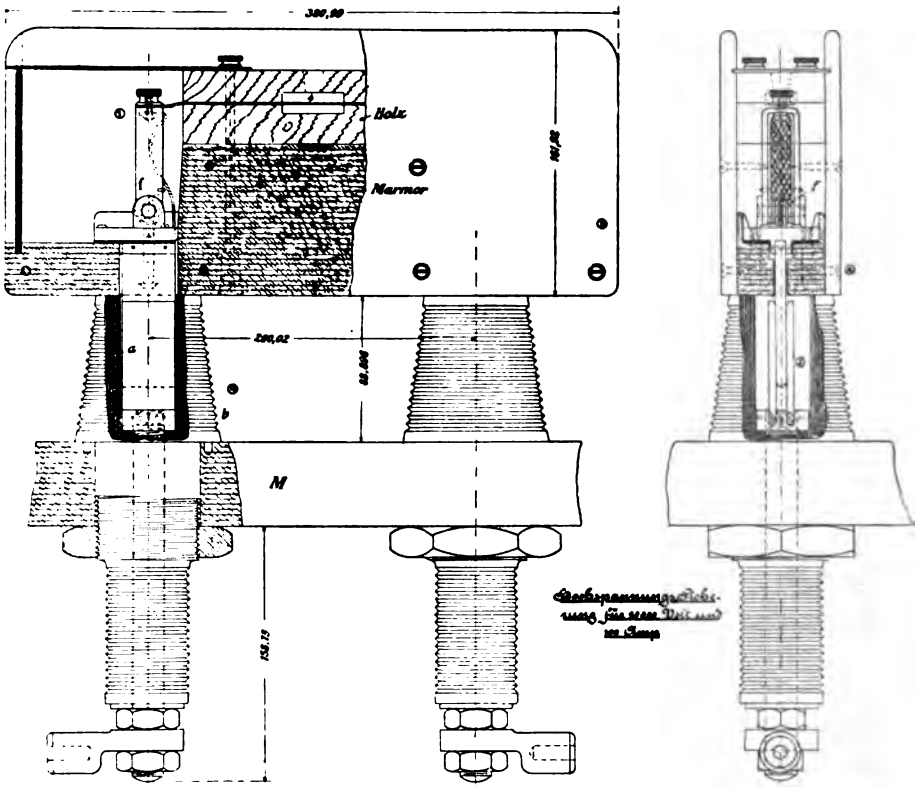


Fig. 284. General Electric Co.

Digitized by Google

dem Sicherungsrohr (Fig. 286) eine Reihe feuersicherer Wände einzieht, die den Draht ziemlich eng umschließen.

In England wird der Partridge Fuse (Electrician 1902, S. 435, Juli) viel Beachtung geschenkt: In Fig. 287 schmilzt die links sichtbare Kapsel a, die mit flüssiger Kohlensäure gefüllt ist, beim Schmelzen des

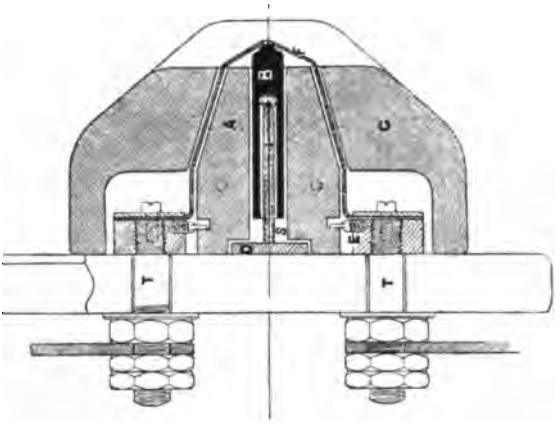


Fig. 285.

Sicherungsstreifens e ab und bläst den Lichtbogen aus. Die Sicherung ist bei 230 mm Kontaktabstand für 10000 Volt bestimmt. d ist eine abnehmbare Isolationswand, b ein Federkontakt, c ein mit Blei ein-

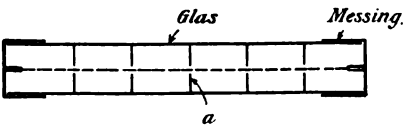


Fig. 286.

gegossener Bolzen, die Schrauben f sind in den Bleiausguß h eingesetzt, der schraffierte Teil g ist Porzellan und der Isolator i bietet eine Oberflächenisolation von 0,3 m.

Voigt & Häffner (Fig. 288) und andere Firmen haben oberhalb der Sicherungsstreifen Hörner angebracht, um den entstehenden Lichtbogen aufzunehmen. Auch die ausschaltbare Hochspannungsröhrensicherung für 12000 Volt (Fig. 280) hat an ihrem oberen Kontakt Hörner, welche die Funkenbildung aufnehmen.

Die bei den Schaltern erwähnte, Lichtbogen erstickende Wirkung des Oels wird neuerdings auch auf Sicherungen übertragen. Bei der Ausführung der Oelsicherung ist es von Wichtigkeit, daß der Sicherungsstreifen im normalen Zustand über dem Oel liegt und erst beim Durchschmelzen, etwa durch eine Feder g, unter das Oel gezogen wird,

Digitized by Google

z. B. nach Fig. 289 nach E. P. 11629 vom Jahre 1903 von Siemens Brothers, London. Die Ausführung der Oelsicherung von Lahmeyer-

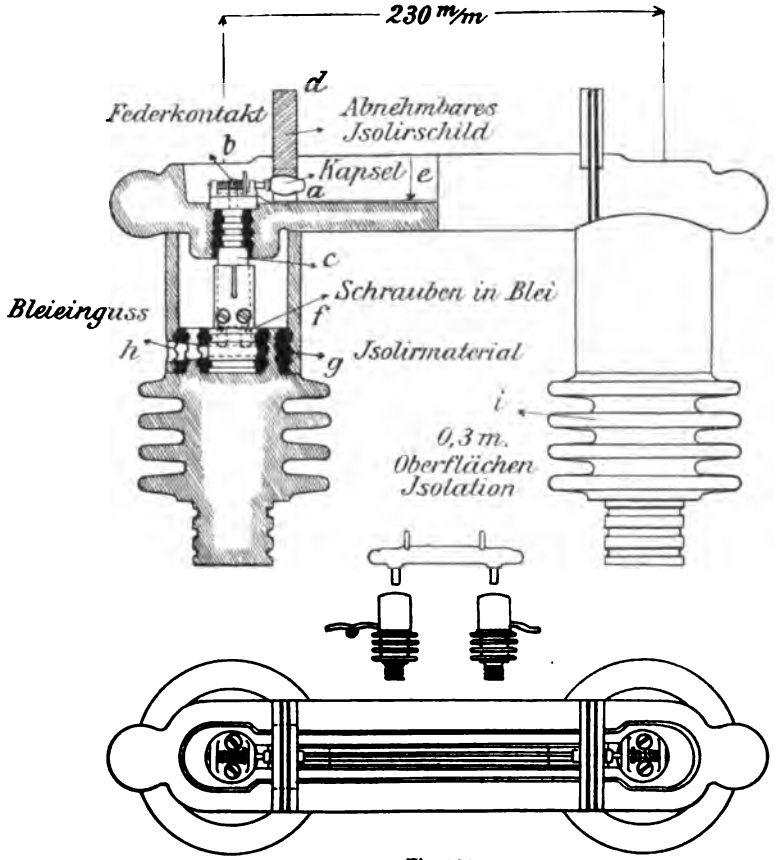


Fig. 287.

Fig. 288. Voigt & Häffner.

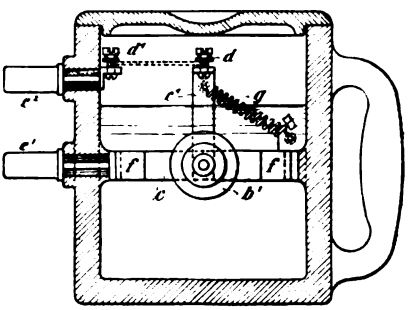


Fig. 289.

Frankfurt, die demselben Prinzip entspricht, ist in Fig. 290 u. 290a abgebildet. Der Sicherungsdraht ist innerhalb der Hülse s (Fig. 290), die

Digitized by Google

in Fig. 290a gesondert abgebildet ist, untergebracht und liegt ganz außerhalb der Oelfüllung o. Beim Durchschmelzen des Schmelzdrahtes zieht

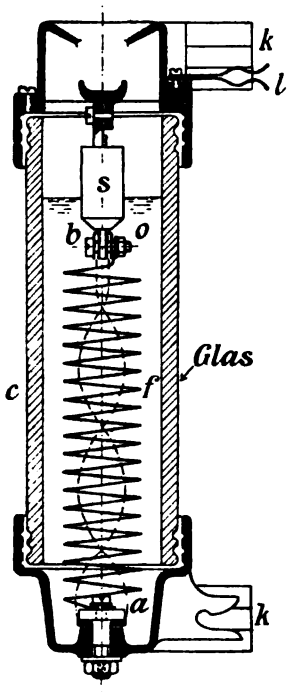


Fig. 290.

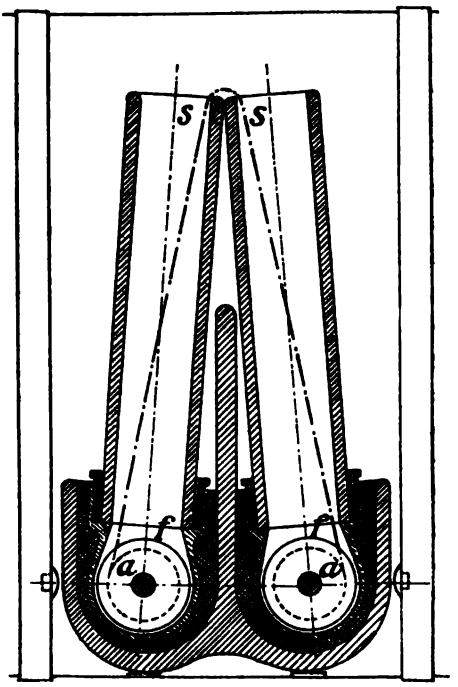


Fig. 291. Ferranti-Sicherung.

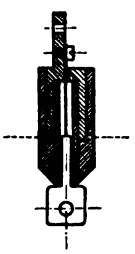


Fig. 290a.

die Spiralfeder f das Ende b unter das Oel. Als untere Zuleitung dient ein bewegliches Kabel a (strichpunktiert). Das Glasrohr c ist beiderseits in eine mit Klemmen k versehene Metallkappe eingekittet, so daß diese Sicherung geradeso wie Röhrensicherungen eingesetzt werden kann. Beim Herausnehmen ist erst der obere Kontakt k zu unterbrechen, an dem ein leicht ersetzbarer Hilfskontakt l vorgesehen ist. Die Spiralfeder f (Fig. 290) kann auch durch eine Konstruktion, wie sie von den Puffern der Eisenbahnwagen bekannt ist, ersetzt werden. Einer der ersten, der Oelsicherungen gebaut hat, war wohl Ferranti; eine seiner Konstruktionen zeigt Fig. 291: Der Schmelzdraht ist an beiden Enden im Grund einer Tonröhre auf einer drehbaren Achse a befestigt und wird durch zwei Torsionsfedern f gespannt. Er verläuft größtenteils in Oel und tritt nur oben, wo er über die beiden gegeneinander geneigten Ränder der Tonröhren passiert, an die Luft. An dieser Stelle schmilzt er auch durch, wobei die beiden Enden durch die

Digitized by Google

Torsionsfedern f ins Oel gerissen werden. — Die Siemenssche Sicherung Fig. 289 wird mittels der Steckkontakte c_1 c_2 an die Leitung angeschlossen. Außer der Sicherung enthält der Porzellankasten noch einen Drehschalter f, der beim Durchschmelzen der Sicherung sich ebenfalls öffnet, und zwar hat er eine ganze Reihe Messer c, die alle gleichzeitig unterbrechen. — Sicherungsstreifen, die dauernd unter Oel liegen, kühlen sich viel zu sehr ab, verändern durch Karbonisieren des Oels ihren Querschnitt und verursachen überdies meist folgenschwere Explosionen beim Durchschmelzen. Das Herumspritzen des Oels bei Oelsicherungen ist überhaupt eine unangenehme Seite dieser Type, wovon allerdings Fig. 289 frei sein dürfte.

Um die Lichtbogenwirkung beim Abschmelzen von Sicherungen unschädlich zu machen, wozu, wie schon erwähnt, Abreißfedern, zwischengeschobene Fallschieber, sand- und pulverförmige Materialien, mehrfache Schutzwände, Hörner, Blasmagnete, Luftzug und Druckluft (Fig. 220), sowie Oel verwendet werden, kann man auch parallel zur Hauptsicherung a einen langen dünnen Draht b legen. Geht a durch, so passiert der Strom den Draht b, der ohne Lichtbogenbildung vollständig in Gasform übergeführt wird. — Ferranti benützt als Sicherung für elektrostatische Meßinstrumente ein mit Wasser gefülltes Glasrohr, dessen Inhalt bei Kurzschluß verdampft.

17. Montage und Berechnung der Sicherungen.

Abgesehen vom geerdeten Mittelleiter sind stets alle Pole zu sichern; es ist aber auch erwünscht, daß z. B. in einem Drehstromnetz stets alle drei Sicherungen zusammen durchgehen. Schmilzt nur eine, so laufen die Motoren mit erhöhtem Stromverbrauch einphasig weiter. Ein solcher Zustand ist aber zu vermeiden. Siemens & Halske haben in D. R.-P. 130225 eine Vorrichtung angegeben, welche sämtliche Leitungen unterbricht, falls eine Sicherung schmilzt. Sollte ausnahmsweise einpolig gesichert werden, so müssen alle Sicherungen durchweg im selben Pol liegen. Konzentrische Kabel dürfen im Außenleiter keine Sicherung erhalten, dieser wird zweckmäßig an Erde gelegt. Das Durchschmelzen nur einer Sicherung in einem Zwei- oder Mehrleiternetz kann zu gefährlichen Spannungserhöhungen Veranlassung geben; in dieser Hinsicht ist ein allpoliger automatischer Schalter vorteilhafter. — Die Sicherungen sind stets nach Möglichkeit zu zentralisieren.

In feuchten Räumen sollte man Sicherungen vermeiden; schließt man sie für solche Fälle luftdicht ab, so sind Explosionen zu fürchten. Es geht dies höchstens für niedrige Spannungen und kleine Stromstärken.

Digitized by Google

Auch in Kabelkästen können Sicherungen verheerende Wirkungen anrichten.

Die Sicherungen lege man möglichst zwischen den Hauptschalter und die Dynamo oder den Motor, damit beim Unterbrechen durch den Schalter die Sicherungen von der Netzspannung abgetrennt sind, um sie gefahrlos bedienen zu können.

Erregerstromkreise, Drehstromgeneratoren und Stromkreise, in denen Motoren als kurzgeschlossene Dynamos gebremst werden, sichere man nicht.

Sicherungen müssen 25 % Ueberlast dauernd ertragen, beim doppelten ihres Normalstroms sollen sie innerhalb 2 Minuten durchschmelzen, d. h. bei Normalstrom erreichen sie $^1/_4$ ihrer Schmelztemperatur, die zwischen 100 und 1200° liegt, je nach dem Material. Das Durchschmelzen soll selbst bei Kurzschluß kein Herumspritzen von Sicherungsteilen auf benachbarte Leitungen und Apparate bedingen. Der Durchmesser d des Schmelzstreifens in mm ergibt sich aus der Beziehung

$$J = c\sqrt{d^3} = c\,d^{3/2}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

worin J der Schmelzstrom; c ist für übliche Blei-Zinnlegierungen (3 Pb + 2 Sn) etwa 10,5; für Blei ist $c = 17$, für gewisse Legierungen nur 6. Statt $^3/_2$ kann der Exponent auch 1,2 bis 1,6 sein.

Für Streifen vom Querschnitt q und dem Umfang u gilt

$$J = c_1\sqrt{u\,q}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

$c_1 = 6{,}3$ für 3 Blei + 2 Zinn, was bei üblichen Abmessungen Stromdichten von 2—7 Amp./qmm ergibt; für Blei ist $c_1 = 10$. Eine genauere Formel von Feldmann berücksichtigt auch die Schmelzstreifenlänge l und setzt

$$J = \frac{a}{\sqrt[4]{l}}\sqrt{u\,q}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

worin a eine experimentell zu ermittelnde Konstante ist. Der Koeffizient c, c_1 und a ist proportional $\sqrt{\frac{T}{w_s}}$, falls T die Uebertemperatur (Schmelztemperatur) des Streifens und w_s der spezifische Widerstand des Schmelzstreifens ist. Er hängt auch von dem Aufbau der Sicherung, z. B. von den Metallmaßen der Klemmen ab; ist z. B. $c_1 = 7$ für einen in Luft verlegten Streifen, so wird $c_1 = 10$ bei Verlegung desselben Streifens in einem Glas- oder Porzellanrohr. Nach anderen Versuchen soll bei Bleistreifen von 50—70 mm Länge für offene Montage $d = \left(\frac{J}{11}\right)^{2/3}$ sein, bei abgeschlossener Verlegung $d = \left(\frac{J}{16}\right)^{2/3}$. Oxydschichten auf dem Schmelzdraht beeinflussen den Schmelzstrom beträchtlich. Schwartz & James finden folgenden Zusammenhang zwischen J und d:

Digitized by Google

	d = 0,2	0,5	0,8	1,3 mm,
Schmelzstrom	J = 8	29	58	— Aluminium,
	J = 5	13	25	— Aluminium mit Abreißfeder,
	J = 7	20	39	72 Silber,
	J = 2	5	9	16 Zinn.

Für verzinntes Kupfer finden dieselben Autoren für den Schmelzstrom

$$J = 0{,}864 \cdot J_1 + 19000 \frac{d^2}{l},$$

d = Durchmesser, l = Schmelzlänge in cm, J_1 = Schmelzstrom bei unendlich langem Draht.

Der Schmelzstrom vertikaler Schmelzdrähte ist 5 bis 10 % kleiner als der von horizontalen.

Für Streifen aus Blei gilt

$$J = 1{,}03\, d^{0{,}74}\,(0{,}4\, b + 0{,}16),$$

d = Dicke, b = Breite in cm.

Spannt man Schmelzdrähte in ein Glasrohr, so gibt es einen bestimmten Innendurchmesser desselben, bei dem J ein Minimum wird, z. B. bei 0,2 mm Drahtdurchmesser ist dieser Rohrdurchmesser = ∾ 12 mm.

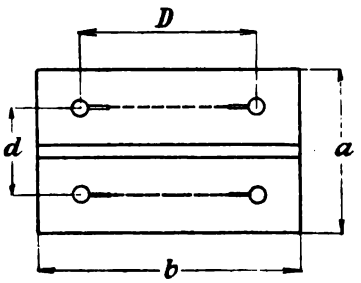


Fig. 292.

Bei der Auswahl des Materials ist zu verlangen, daß dasselbe beim Schmelzen nicht oder wenig spritzt und bei 50 % des Schmelzstroms nicht oxydiert. Am besten ist Silber und in zweiter Linie verzinntes Kupfer.

Die Schmelzlänge l und damit der Abstand D der Klemmen (Fig. 292) ist von Firma zu Firma sehr verschieden. In nachstehender Tabelle sind einige Anhaltspunkte dafür gegeben.

Nach den Vorschriften des Verbands Deutscher Elektrotechniker:

Amp.	5	30—50	100	200	400	700	
D	30	70	80	95	95	110	mm
l ca.	45	50	55	65	65	75	„

Ausführungen zeigen:

Maße in mm	Amp.	30	100	400	1000	
	D	55	70	125	180	bei 250 Volt.
	d	45	50—60	90—100	140—160	
	D	120	200	280	—	bei 750 Volt.
	d	80	90	130	—	
	D	280	300	350	—	bei 3000 Volt.
	d	160	160	250	—	

Bei Röhrensicherungen für 10000 Volt ist $d \geqq 200$.

Digitized by Google

Auch der Abstand d zwischen zwei Sicherungen verschiedener Polarität ist in der Tabelle verzeichnet. Je länger die Sicherung ist, desto rascher [1]) schmilzt sie bei gegebenem Strom durch. Der Spannungsabfall in Sicherungen beträgt etwa 0,05—0,5 Volt bei 110 Volt. Ueber die Bemessung der Kontakte siehe S. 107 u. 158.

Schmelzpunkttemperaturen T:

Kupfer	1080°	
Messing	1015°	
Silber	968°	
Aluminium . . .	625°	
Blei	326°	verflüchtigen sich bei 1450—1600°.
Zinn	230°	
Legierungen: 1 Zinn + 1 Blei + 1 Wismut		110°
3 Blei + 2 Zinn		232°
1 Blei + 1,7 Zinn		183°
5 Blei + 3 Zinn + 8 Wismut . . .		ca. 100°

Oelschläger [2]) hat mit Hilfe des Oszillographen an einer Sicherungspatrone für 20 Ampere Normalstrom mit einem Silberschmelzdraht

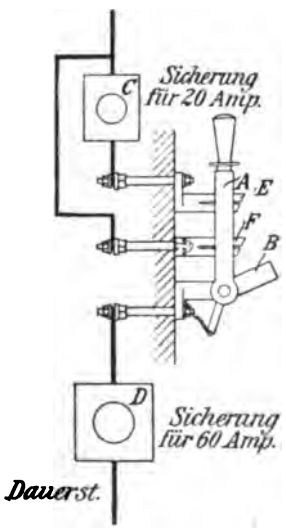


Fig. 293.

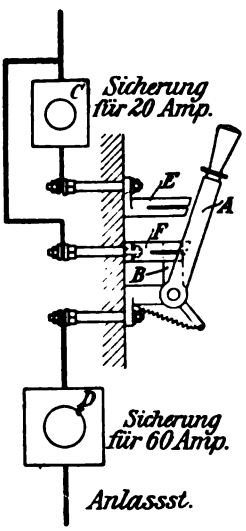


Fig. 293a.

von 0,004 Ohm (kalt) und 0,017 Ohm beim Schmelzen (968°) mit einer Klemmenspannung von 110 Volt einen maximalen Kurzschlußstrom der

[1]) Z. B. bei l = 200 mm in 3 Sek., bei l = 19 mm in 92 Sek., bei l = 16 mm nicht mehr.

[2]) E.T.Z. 1904.

Digitized by Google

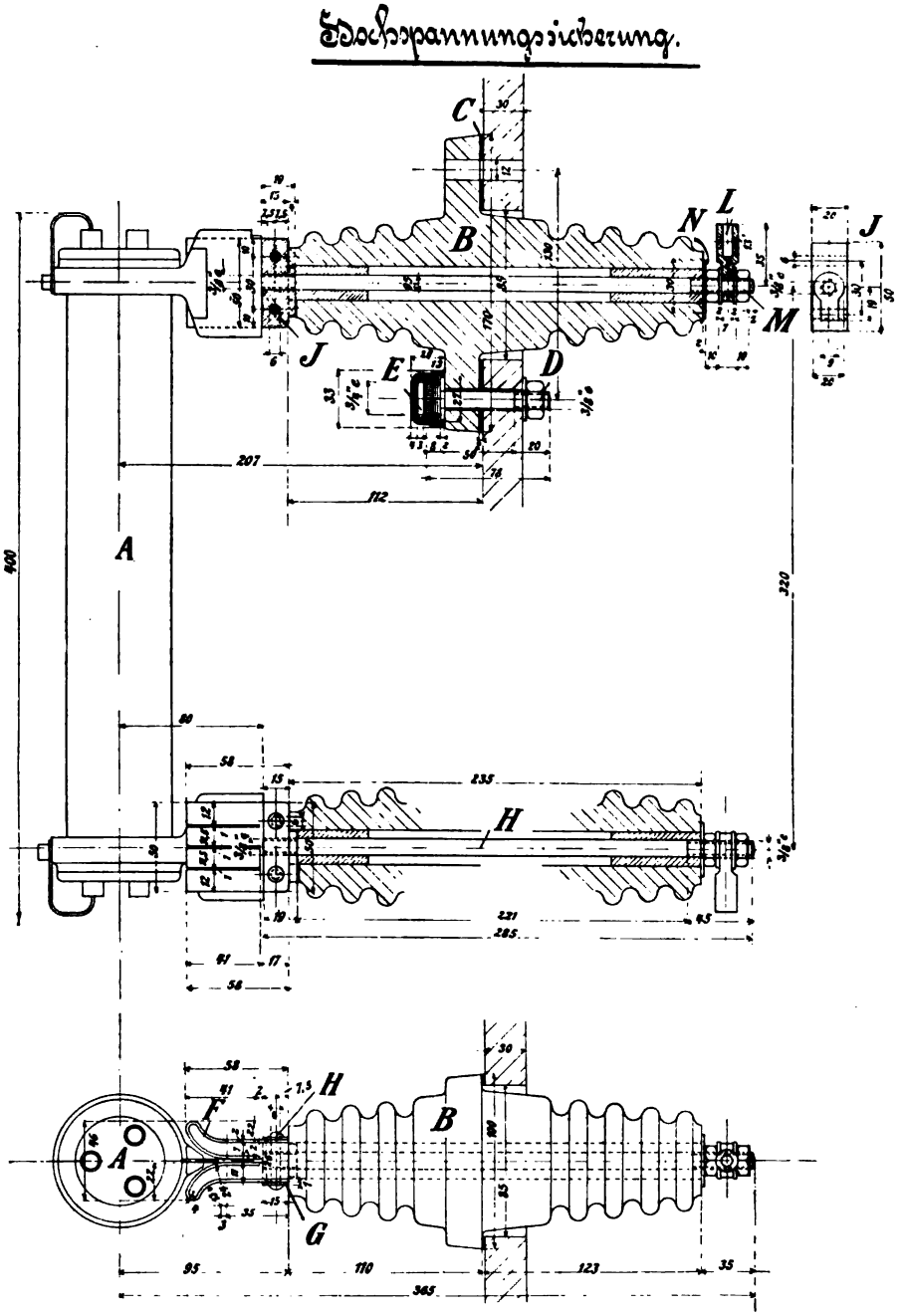


Fig. 294. Ges. für elektr. Industrie.

Sicherung von 850 Ampere beobachtet, statt des theoretischen Wertes 110 : 0,017 = 6500. Bei dem Versuch lag die Patrone ganz direkt an

Digitized by Google

einer kräftigen Akkumulatorenbatterie. Das Durchschmelzen erfolgte innerhalb 0,006 Sekunden und die tatsächliche Unterbrechung von 850 Ampere auf 0 innerhalb 0,00015 Sekunden. Dabei trat eine Spannungssteigerung von 110 auf 800 Volt auf.

Um bei Motoren während des Anlassens ein Durchschmelzen der Sicherung zu vermeiden, verwendet die A. E.-G. die in Fig. 293 u. 293a angegebene Schaltung. Während des Anlassens (Fig. 293a) ist nur eine 60 Amperesicherung eingeschaltet, für den Dauerbetrieb (Fig. 292) aber auch eine 20 Amperesicherung.

Der Sockel der Sicherung muß aus nicht brennbarem, nicht hygroskopischem Material bestehen, das selbst bei 300° keine Formveränderung erleidet.

Die Montage der Hochspannungssicherungen an Schalttafeln hat auf geeigneten Isolatoren, wie sie aus Fig. 35, 39 u. 294 der Ges. für elektr. Industrie Karlsruhe ersichtlich sind, zu geschehen. Die einzelnen Teile des Aufbaues der Hochspannungssicherung (Fig. 294) sind nachstehender Stückliste zu entnehmen.

Stückliste.

Bezeichnung	Benennung	Stück	Material
A	Patrone	1	
B	Durchführungsrohr	2	
C	Unterlage	2	Asbest
D	Schraube $^3/_8$"	4	Schmiedeeisen
E	Kappe	4	Ambroin
F	Kontaktfeder	4	Kupferblech 2 mm stark
G	Unterlagsblech	4	Messing 1 mm stark
H	Niete 6 mm Durchmesser. .	4	Kupfer 32 lang
I	Kontaktstück	2	Messingguß
K	Verbindung	2	Kupfer 9,5 Durchmesser
L	Kabelschuh	2	Messingguß
M	Muttern	4	Messing
N	Scheibe	2	Schmiedeeisen 2 mm stark

Sicherungen sind außer der Hochspannungsprüfung mit doppelter Betriebsspannung, mindestens aber 1000 Volt Wechselstrom zwischen den nicht verbundenen Kontakten und gegen Gestell hinsichtlich ihres Funktionierens mit Gleichstrom am besten mit einer kräftigen Batterie zu untersuchen, auf die man die Sicherung bei geeignetem Vorschaltwiderstand schließt. Dabei soll die Spannung die normale um 10 % übertreffen.

Digitized by Google

IV. Selbsttätige Schalter (Automaten).

18. Gleichstromautomaten.

Die selbsttätigen Schalter haben die Aufgabe, den Stromkreis zu öffnen, wenn der Strom eine gewisse Grenze überschreitet (Ueberlastausschalter oder Maximalausschalter); sie ersetzen dann die früher besprochenen Sicherungen, denen sie in allen Kraftanlagen vorzuziehen sind. Sie haben allerdings den einen Nachteil, daß sie bei einer einmal eingestellten Höchststromstärke augenblicklich unterbrechen, während die Sicherungen Stromstöße kurze Zeit ertragen, d. h. es fehlt dem automatischen Schalter das sogen. Zeitelement.

Die zweite Art der Automaten wird besonders in Akkumulatorenanlagen zur Vermeidung einer Stromumkehr verwendet, sie verhindern, daß aus einer Batterie bezw. überhaupt von den Sammelschienen aus elektrischer Strom in die Generatoren fließt. Diese Ausschalter müssen also eigentlich erst bei Stromumkehr wirken, man führt sie jedoch häufig als sogen. Minimalausschalter aus, die schon funktionieren, wenn der Generatorstrom z. B. auf etwa 5 % seines vollen Wertes gesunken ist. Schließlich lassen sich die Ausschalter mit einem Spannungsrelais versehen, das einen gegebenen Motorstromkreis unterbricht, sobald die Netzspannung ausbleibt. Die eigentlichen Rückstromschalter haben zwei Spulen, eine Spannungs- und eine Stromspule, die sich normaliter entgegenwirken (Differentialrelais). Schlägt der Strom um, so addieren sich die Wirkungen beider Spulen und ihr Anker wird angezogen, wodurch die Stromunterbrechung eingeleitet wird. Die Justierung kann auch so erfolgen, daß die Spannungsspule schon bei einem gewissen Minimalwert des normalgerichteten Stromes überwiegt und den Anker anzieht.

Die Firma Voigt & Häffner baut folgende selbsttätigen Schalter für Gleichstrom:

I. „Min." = Minimalautomat. Die Auslösung wird bewirkt, wenn die Erregerstromstärke der Magnetwicklung eine gewisse untere Grenze erreicht hat.

Digitized by Google

1. „Ha." = Hauptstromwicklung. Zweck: Schutz einer Dynamo gegen Rückstrom aus der Batterie oder aus dem Netz. Die Einstellung kann so erfolgen, daß der Automat nach vorangegangener maximaler Erregung erst auslöst, nachdem die Stromstärke auf etwa 1—3% gesunken ist. Zum Festhalten des Ankers bei von 0 ansteigendem Strome sind 8 bis 10% der maximalen Stromstärke erforderlich.

2. „N." = Nebenschlußwicklung. Die Magnetspule des Automaten liegt im Erregerstromkreise eines Nebenschluß- oder Compoundmotors. Zweck: Abschaltung des Motors vom Netz bei Verschwinden des Zuleitungsstromes infolge Unterbrechung des Betriebes oder Abschmelzen einer größeren Sicherung, um den stillstehenden Motor bei der Wiederkehr des Stromes vor Beschädigung zu schützen; ferner Abstellen des Motors bei Unterbrechung des Erregerstromkreises infolge einer zufälligen Beschädigung derselben.

3. „Spa." = Spannungswicklung. Die Magnetspule des Automaten ist an die Klemmen eines Hauptstrommotors angeschlossen. Zweck: Abschalten eines Hauptstrommotors bei Wegbleiben der Spannung infolge Betriebsunterbrechung.

II. „Max." = Maximalautomat. Die Auslösung wird bewirkt, wenn die Erregerstromstärke des Magneten eine gewisse obere Grenze erreicht hat.

1. „Ha." = Hauptstromwicklung. Zweck: Schutz eines Motors oder einer Dynamo gegen Ueberlastung, Schutz einer Batterie gegen Ladung oder Entladung mit zu hoher Stromstärke. Die Grenzen der Einstellbarkeit sind bei normaler Ausführung 50 bis 150% der normalen Betriebsstromstärke.

2. „Spa." A = Spannungswicklung bei Momentbelastung. Zweck: Abschalten irgend eines Stromkreises von einem fernliegenden Punkte aus in Verbindung mit einem Kontakt-Volt- oder Amperemeter, einem Druckknopf oder irgend einer beliebigen, mechanisch betätigten elektrischen Kontaktvorrichtung. Die Auslösespule ist nur für Momentanbelastung eingerichtet und wird deshalb beim Herausfallen des Automaten durch einen kleinen Hilfskontakt nochmals unterbrochen.

3. „Spa." B = Spannungswicklung bei Dauerbelastung. Zweck: Abschaltung eines Stromkreises, wenn die Spannung zu hoch geworden ist. Die Schaltung ist so einzurichten, daß gleichzeitig mit der Ausschaltung des Hauptstromes auch die Spannungsspule stromlos wird.

III. „R." = Rückstromautomat. Die Auslösung wird bewirkt: 1. wenn die normale Stromrichtung sich umkehrt bei steigender Rückstromstärke, 2. nach Art eines Maximalautomaten bei übergroßer Stromstärke in normaler Stromrichtung.

Die Ausführung der Rückstromautomaten ist konstruktiv gleichartig den Maximalautomaten, nur die Magnetbewicklung ist verschieden. Dieselbe enthält nämlich eine Spannungsspule und eine Spule für den Hauptstrom. Die letztere ist so gewickelt, daß ihre magnetische Wirkung bei normaler Stromrichtung derjenigen der Spannungsspule entgegen gerichtet ist. Bei Rückstrom addieren sich also die Wirkungen der beiden Spulen, bis die Auslösung bewirkt wird. Außerdem wird die notwendige Feldstärke des Magneten auch noch erreicht, wenn die Stromstärke der Hauptstromspule im normalen Stromsinne so groß wird, daß sie die Wirkung der Spannungsspule überwiegt.

Die Rückstromautomaten besitzen gegenüber den Minimalautomaten besonders den Vorteil, daß sie auch sicher ausschalten, wenn der Rückstrom plötzlich mit großer Stärke auftritt, da die Tendenz zur Auslösung mit steigendem Rückstrom steigt.

Die von Hand und die selbsttätig arbeitenden Schalter eines Stromkreises verriegle man gegenseitig derart, daß der Handausschalter nur

Digitized by Google

geöffnet werden kann, wenn der selbsttätige schon offen ist. Es sollte auch nicht möglich sein, den selbsttätigen Schalter an seinen Hauptkontakten zu schließen, solange nicht der Handschalter zu ist[1]), und ferner solange nicht die Ursache des Ueberstroms (Kurzschlusses) behoben ist. Häufig kombiniert man mit dem Schalter einen Hilfskontakt, der den Stromkreis erst auf einen Widerstand, nicht direkt auf das Netz

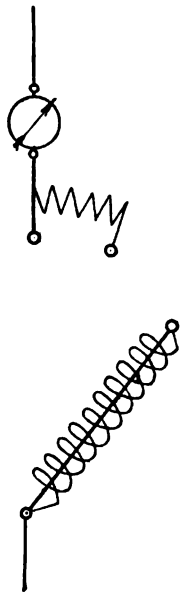


Fig. 295.

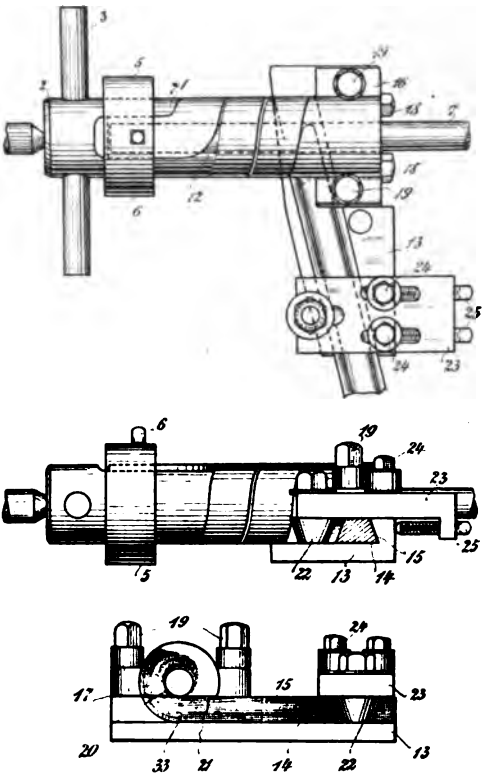


Fig. 296.

schließt. An dieser Zwischenstellung kann man dann mit Hilfe des Strommessers erkennen, ob der Kurzschluß behoben ist oder nicht (Fig. 295). Eine Hilfsspule kann automatisch das Einschalten verhindern, solange der Kurzschluß nicht behoben ist; die Hilfsspule liegt parallel zu den Hauptkontakten.

Die Ueberlastausschalter müssen mit zuverlässig arbeitender Momentunterbrechung und einer guten Funkenentziehvorrichtung ausgerüstet sein, da sie selbst Kurzschlüsse im Netz anstandslos unterbrechen müssen.

[1]) Siehe D. R.-P. 115807, das eine Verrieglung des Handschalters mit dem Automaten angibt.

Digitized by Google

Auch die Minimalausschalter werden in ähnlicher Weise entworfen, wenn auch die Anforderungen in der Regel viel weniger schwierig sind. Quecksilberkontakte finden sich nur noch bei kleinen Stromstärken unter

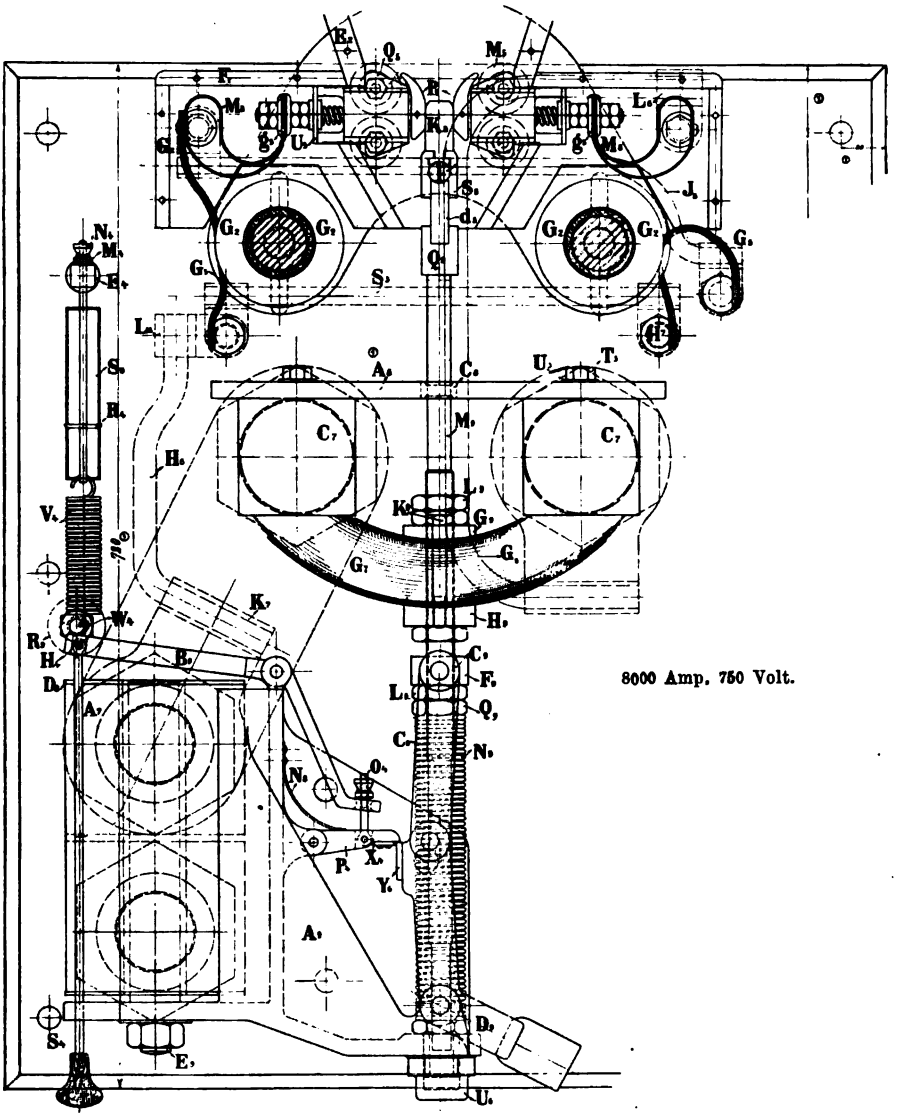


Fig. 297. General Electric Co.

50 Ampere. Die Ausschaltung geschieht meist durch Federkraft, seltener durch die Schwerkraft. Die Auslösung der Federkraft besorgt ein Elektromagnet oder ein Solenoid, das im Hauptstrom oder an einem Nebenschluß im Hauptstrom liegt. Bei starken Strömen bietet die Herstellung

Digitized by Google

dieser Stromspulen recht erhebliche Schwierigkeiten. Eine Vorrichtung zum Wickeln derselben ist nach E. P. 3158 v. J. 1903 der Gen. El. Co. in Fig. 296 abgebildet. Damit der Querschnitt nach dem Wickeln rechteckig wird, ist er zunächst trapezförmig. Bei großen Stromstärken kann das erforderliche Magnetfeld schon durch eine gerade Kupferschiene erzeugt werden.

Alle selbsttätigen Schalter sind mit einer Justiervorrichtung zu versehen, die gestattet, die Ausschaltestromstärke innerhalb gewisser Grenzen

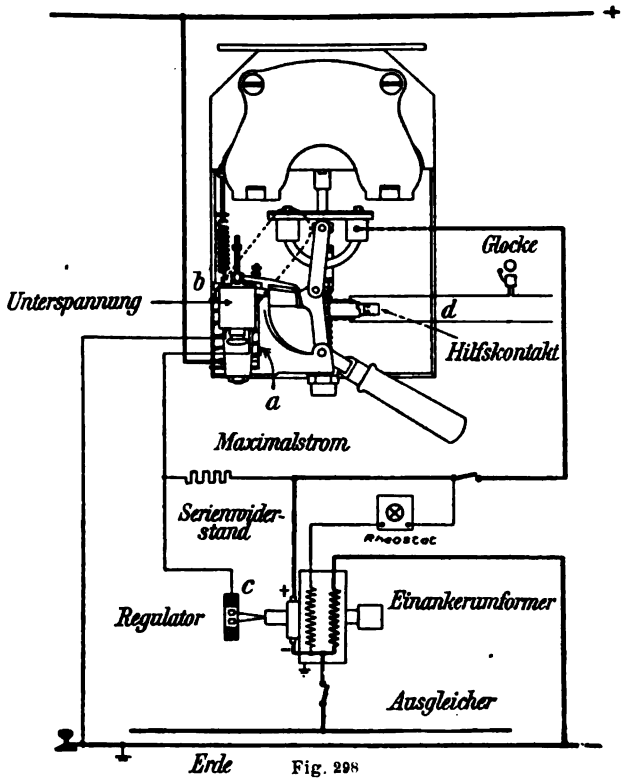


Fig. 298

zu regulieren. Diese Regulierung kann in einer Veränderung des Luftspaltes des Relaismagneten, in einer Justierung des Ankergewichtes desselben Magneten bestehen, oder aber in der Anordnung eines variablen magnetischen Nebenschlusses in dessen Magnetkreis.

Die typische Form eines Maximalausschalters, der von der Gen. El. Co. seit vielen Jahren für die schwierigsten Bahnbetriebe geliefert wird, ist in Fig. 297 für 8000 Ampere abgebildet. Der Hauptkontakt G_7 besteht aus einem gebogenen Paket von $^1/_2$ mm starken Kupferlamellen, auf denen beiderseits etwas stärkere Phosphorbronzefedern liegen. Durch die Stange M_9 ist er mit dem Hilfskontakt K_5 lose verbunden. An

Digitized by Google

diesem letzteren erfolgt die endgültige Unterbrechung, wobei der Funke sowohl durch die Hörner P_5, als auch durch die beiden Elektromagnete G_2 gelöscht wird. Die beiden Spulen G_2 sind nämlich beiderseits mit Eisenscheiben versehen, welche den Hilfskontakt P_5 zwischen sich fassen. Beim Ausschalten gibt der Anker B_9, dessen Gegenkraft durch die Feder V_4 verändert werden kann, die Nase Y_6 frei, worauf die Feder N_9 den Kniehebel C_9 zusammendrückt. A_7 ist die Ueberlastrelaisspule mit nur zwei Windungen. Der Griff S_4 dient zum Ausschalten von Hand. Die vielseitige Verwendung eines solchen Automaten in dem Gleichstromkreise eines Einankerumformers zeigt die Fig. 298. Er hat eine Spule a für Maximalstrom, eine zweite Spule b für Unterspannung, welche arbeitet, falls die Spannung auf 50 % ihres normalen Wertes

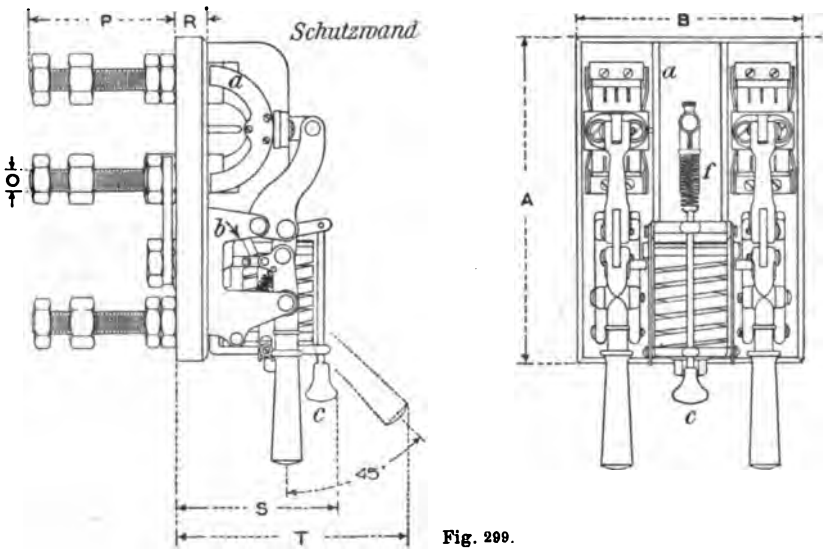


Fig. 299.

sinkt. Dieselbe tritt auch in Funktion, wenn der Geschwindigkeitsregulator C auf der Maschinenachse Kontakt macht, was dann eintritt, wenn der Umformer umgekehrt angetrieben wird und durchgeht. Außerdem ist ein Hilfskontakt d vorgesehen, der beim Unterbrechen eine Glocke zum Ertönen bringt, um den Maschinenwärter darauf aufmerksam zu machen[1]). Ein solcher Ausschalter für 10 000 Ampere benötigt eine Grundfläche von 600 × 900 mm.

Für kleinere Stromstärken bis 1200 Ampere und 250 Volt verwendet die Gen. El. Co. die Ausführung Fig. 299, die ebenfalls einen Knie-

[1]) Auch ein Rückstromrelais im Gleichstromkreis kann die Spule b betätigen, dasselbe kann z. B. als Westoninstrument ausgebildet sein, das bei Rückstrom nach rückwärts ausschlägt und dabei Kontakt macht.

Digitized by Google

hebelverschluß b hat, welcher beim Unterbrechen von dem Anker des Solenoids durchgeschlagen wird. Die endgültige Unterbrechung geschieht an zwei Hilfskontakten a. Die Marmorplatte ist 25 bis 30 mm stark,

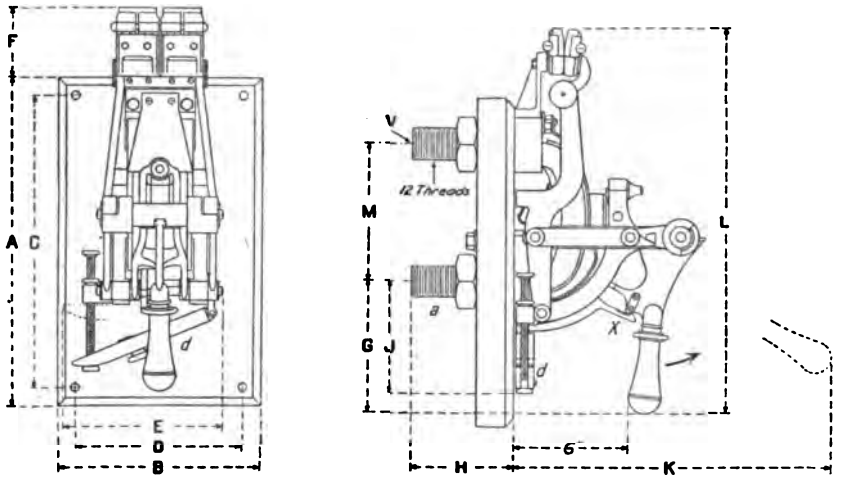


Fig. 300. General Electric Co.

die Grundfläche A × B bei der Höchststromstärke von 1200 Ampere 440 × 260 mm, die Höhe S = 160 mm. Durch den Griff c kann dieser Schalter ebenso wie Fig. 297 auch von Hand unterbrochen werden. Statt

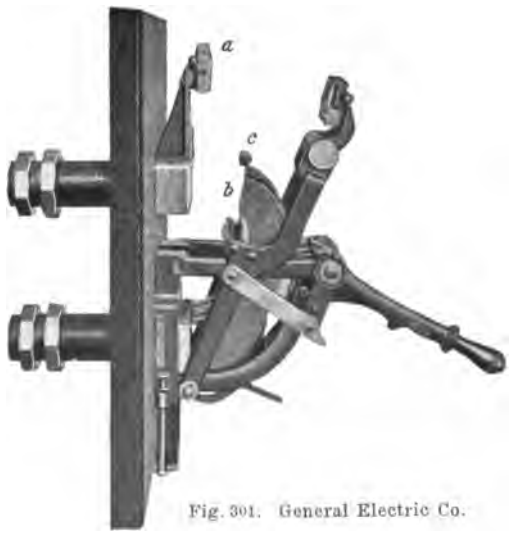


Fig. 301. General Electric Co.

des in Fig. 297 abgebildeten Starkstromautomaten liefert die Gen. El. Co. auch die Anordnung Fig. 300 u. 301 für Ströme bis 10000 Ampere und Spannungen bis 650 Volt. Die Auslösung erfolgt hier durch einen

Digitized by Google

Anker d, der von einem Hufeisenmagneten[1]) angezogen wird, welcher um den unteren Kontaktstutzen a herumgebogen ist. Der Anker trifft bei der Aufwärtsbewegung einen Anschlag und löst die Klinke x eines Kniehebels aus. Es sind kräftige Hilfskontakte a (Fig. 301) aus Kohle, sowie noch besondere Stücke c am Hauptkontakt b vorgesehen.

Eine Konstruktion eines Minimalausschalters, die sich schon viele Jahre bewährt hat und als typisch angesehen werden kann, ist in Fig. 302 nach D. R.-P. 67471, Konstruktion des Oberingenieurs Herrmann Müller von Schuckert & Co., abgebildet. Der Anker b wird von dem Magneten h festgehalten, bis der Strom in a auf ein bestimmtes

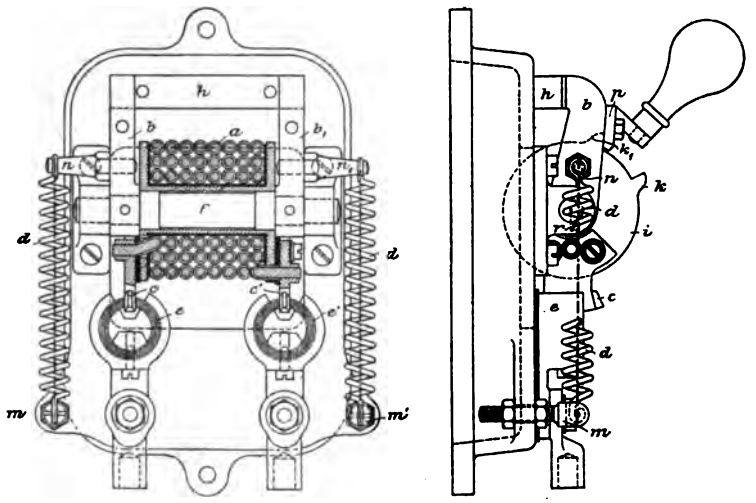


Fig. 302. Schuckert & Co.

Minimum sinkt, dann fällt er nach vorn, die Feder d reißt ihn an einem immer mehr wachsenden Hebelarm l mit großer Kraft auf die Nase k, so daß sich die Scheibe i rasch dreht und den Messerschalter momentan öffnet. Von demselben Apparatenkonstrukteur rührt auch der Maximalschalter Fig. 303 bis 305 her, der insofern von Interesse ist, als der Schalter so lange nicht wieder von Hand geschlossen werden kann, als der Ueberstrom nicht beseitigt ist. Die Feder e sucht den Schalter stets zu öffnen, was durch die Nase v verhindert wird. Von Hand wird der Schalter geöffnet durch Drehen des Griffes g nach oben (Fig. 305). Bei Ueberstrom wird der Eisenkern k von der Spule s in die Höhe gezogen und schiebt die Nase y auf die Seite, so daß die Feder c öffnen kann. Selbst wenn man den Griff g nach unten drückt, öffnet der Kern stets wieder, solange der Kurzschluß weiter besteht (Fig. 304), und zwar

[1]) Fig. 300.

Digitized by Google

schon, bevor die Hauptkontakte c aufliegen, schon beim Stromschluß der Hilfskontakte a b d. — Unterbricht ein Automat eine Maschine oder einen Speiser, so wird die betreffende Dynamo plötzlich ganz oder teilweise entlastet. Ihre Spannung wird deshalb steigen, sie kann sogar eine ziemlich gefährliche Höhe annehmen. Die Union läßt deshalb durch

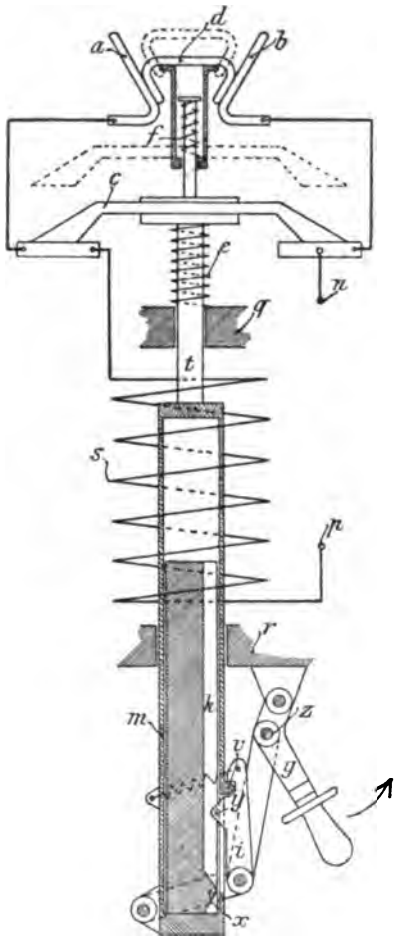


Fig. 303.

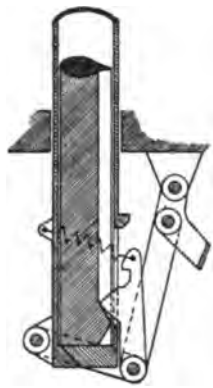


Fig. 304.

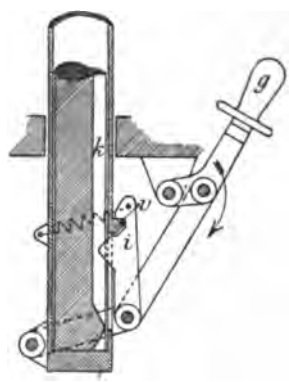


Fig. 305.

den Maschinenautomaten beim Unterbrechen des Hauptstroms einen Widerstand in den Erregerkreis schalten[1]) (D. R.-P. 124458).

Da das plötzliche Ausschalten von Starkstromautomaten bei Kurzschluß den Schalttafelwärter entschieden stört, sollte man sie ähnlich wie Oelschalter in dem Raum hinter der Bedienungstafel in feuersicherer Umgebung montieren und sie durch Gestänge oder elektrisch betätigen.

[1]) Siehe Mod. Ges. f. d. Entw. elektr. Masch. u. App. Fig. 25.

Digitized by Google

19. Wechselstromautomaten.

Für Wechsel- und Drehstromanlagen[1]) kommen die in der schematischen Fig. 306 angedeuteten selbsttätigen Schalter in Anwendung: Rückstromautomaten DR mit Zeitelement in den Generatorkreisen, Ueberlastautomaten DU mit Zeitelement in den Speisern, da wo sie die Zentrale verlassen, dann in den Unterstationen in den Drehstromzuleitungen zu den Umformern und schließlich einfache Rückstromautomaten R beim Eintritt der Speiser in die Unterstation. Das Zeitelement soll verhindern, daß kurzdauernde Stromüberlastungen oder Rückströme die Leitungen unterbrechen. In der Gleichstromleitung der Umformer ist noch ein Maximal- und Rückstromapparat MR und in den Gleichstromspeisern ein Maximalausschalter M eingezeichnet. Die Aufgabe, große Netze mit einwandsfrei arbeitenden Sicherheitsapparaten zu versehen, kann noch kaum als gelöst angesehen werden. Es sollten eben alle gefährlich hohen Stromstärken und Spannungen vermieden werden, ebenso sollten aber auch alle Stromunterbrechungen ausgeschlossen sein.

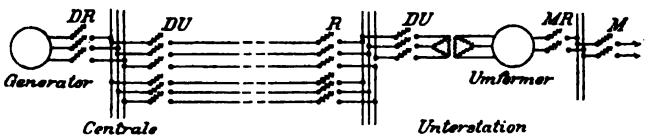


Fig. 306.

Letzteres ist besonders für Lichtanlagen unerläßlich. In Bahnanlagen und auch in Kraftbetrieben wirkt meist eine augenblickliche Unterbrechung nicht übermäßig störend, was bei Verwendung der rasch wieder betriebsfertigen selbsttätigen Schalter[2]), nicht aber bei Sicherungen zutrifft, deren Einsetzen ziemlich zeitraubend ist. Die A. E.-G. hat allerdings Ersatzsicherungen an einem Schalthebel zusammengebaut, den man nur einzulegen hat, falls die Hauptsicherungen durchgeschmolzen sind. So unzuverlässig die Sicherung in mechanischer Hinsicht ist, so wertvoll und nachahmenswert ist ihr Zeitelement, d. h. ihre Eigenschaft, Stromstöße umso länger auszuhalten, je kleiner sie sind. Deshalb findet man in wichtigen Anlagen immer mehr die Stromunterbrecher mit Zeitelementen kombiniert, die z. B. nach folgender Tabelle funktionieren:

[1]) Siehe auch D. R.-P. 150208, das einen automatischen Hochspannungsschalter beschreibt.

[2]) In D. R.-P. 154410 ist sogar ein Schalter angegeben, der sich selbsttätig wieder schließt, falls die Ursache des Ueberstroms behoben ist.

Digitized by Google

Strom	1,3	1,35	1,4	1,5	1,7	∞ mal der normale
Zeit, nach der abgeschaltet wird	∞	25	18	12	7	2 Sekunden

Eine Grundregel für große Netze ist ferner die, daß die durch Kurzschlüsse bedingten Unterbrechungen auf ihren Herd beschränkt werden müssen und sich nicht auf die Unterstationen oder gar auf die Primärstationen fortpflanzen dürfen. Dies geschieht in einfachster Weise dadurch, daß man in die Speiser, die von den Unterstationen abgehen, Zeitelemente legt, die z. B. nach 5 Sekunden schon wirken; die Zeitelemente in den Zuleitungen zu den Unterstationen läßt man aber erst nach 10 Sekunden und die in den Generatoren erst nach 20 Sekunden wirken. Die Unterbrechung bleibt dann auf den fehlerhaften Speiser beschränkt, den man rasch abtrennen kann. Bei Verwendung von Sicherungen veranlaßt ein Kurzschluß in der Regel ein Stilllegen des ganzen Netzes, besonders wenn die durchschmelzenden Sicherungen in den Schaltkästen und hinter der Schalttafel die Kurzschlüsse noch vermehren.

In die Leitungen von Generatoren, die bei Drehstrom einen kurzzeitigen Kurzschluß ertragen können, ebenso in die Erregerleitungen legt man häufig gar keine Ueberlastausschalter. Bei Generatoren bedingt das Oeffnen des Ueberlastschalters nur eine größere Ueberlast der übrigen Maschinen.

Wegen der schlimmen Konsequenzen einer Unterbrechung des Netzes und wegen der durch die Unterbrechung bedingten plötzlichen Spannungssteigerung vermeiden manche große Zentralen die selbsttätigen Unterbrecher ganz und lassen die Ueberlast- und Rückstromrelais nur auf farbige Signallampen und Signalglocken wirken, wodurch das Personal rasch auf unzulässige Verhältnisse aufmerksam gemacht wird, dieselben aber selbst beheben muß.

Die Rückstromschalter in Generatorkreisen, die ein Umschlagen des Generators in Motorbetrieb verhindern sollen, haben meist den Nachteil, daß sie bei Kurzschluß nicht einwandsfrei arbeiten. Führen mehrere parallele Speiser (Fig. 306) zum selben Speisepunkt, so sind außer Ueberlastautomaten Rückstromautomaten Fig. 307 (nach Andrews) erforderlich, damit nicht ein Erd- oder Kurzschluß eines defekten Kabels vom Speisepunkt her Rückstrom bekommt. In vielen amerikanischen Zentralen vermeidet man dieses Parallelschalten der Speiser dadurch, daß man in der Zentrale unabhängige Maschinengruppen bildet, von welchen mindestens zwei eine Unterstation speisen.

Digitized by Google

Die früher besprochenen Gleichstromautomaten sind in gleicher Ausführung in der Regel auch für Wechselstrom anwendbar, sofern die Eisenkerne der Schaltmagnete lamelliert werden. Die Eisenkerne kann man auch durch Metallscheiben oder kurzgeschlossene Spulen K (Fig. 308) ersetzen, die nach dem Thomsoneffekt abgestoßen werden. Aus Fig. 236 ist das von der General Electric Co. verwendete Relais für direkten

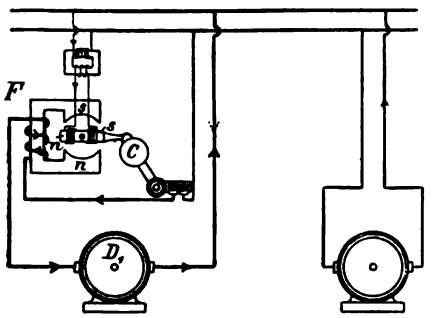


Fig. 307.

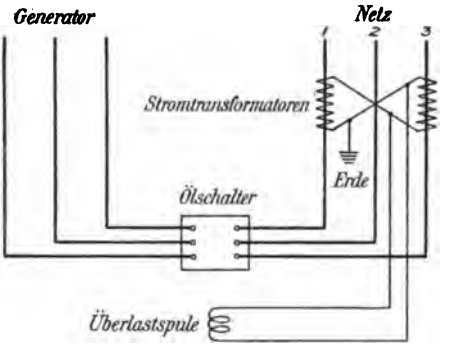


Fig. 309.

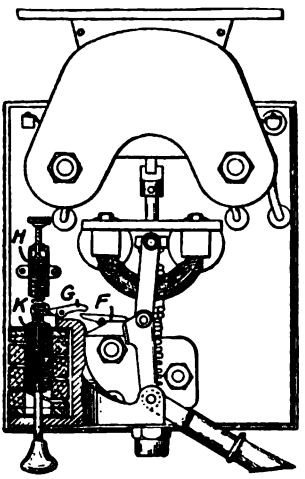


Fig. 308.

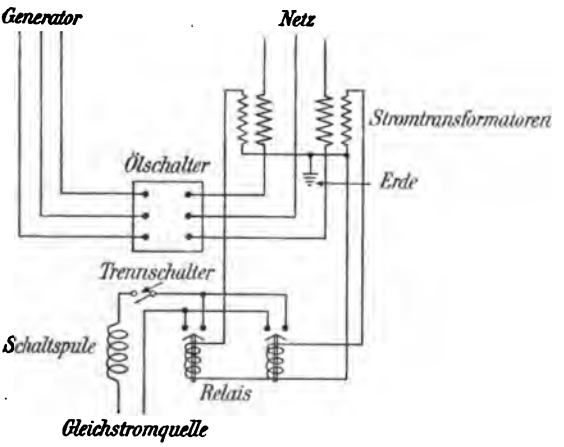


Fig. 310.

Anbau an den Schalter ersichtlich. Bei großen Schaltern wird das Relais jedoch ganz vom Schalter getrennt. In Fig. 236 wird entsprechend dem Schema Fig. 309 die Schaltspule (Ueberlastspule) von zwei Stromtransformatoren erregt, bei Ueberstrom steigt der lamellierte Kern in die Höhe und löst eine Klinke aus, worauf der Schalter durch Eigengewicht sich öffnet. In größeren Zentralen verwendet man vielfach zum Schalten nicht Wechselstrom, sondern eine unabhängige Stromquelle, z. B. den vorhandenen Erregergleichstrom von 110 Volt. Dann gilt das

Digitized by Google

Schema Fig. 310, das namentlich auch bei Betätigung der Schalter durch kleine Gleichstrommotoren (Fig. 235) zu Recht besteht. In Fig. 310 betätigen die Stromtransformatoren zunächst ein doppeltes Relais und dieses schließt den Stromkreis zur Schaltquelle. Das Relais von Brown, Boveri & Co. Fig. 311 nach D. R.-P. 143 556, beruht auf dem Induktionsprinzip. Die Aluminiumscheibe 1 dreht sich zwischen den Polen des

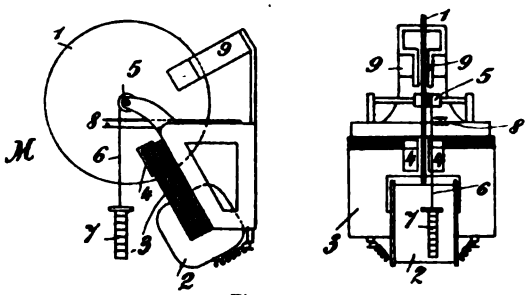


Fig. 311.

Magneten 3, der durch die Spule 2 vom Netz vermittels Stromtransformatoren, an denen auch die Amperemeter liegen, gespeist wird. Auf derselben Welle sitzen drei gleiche Scheiben, die von den drei Phasen beeinflußt werden, so daß wie in einem Drehstromkäfiganker ein Drehmoment entsteht. Auch auf eine Scheibe kann man verschiedene phasen-

Fig. 312. Brown, Boveri & Co.

verschobene Ströme wirken lassen, z. B. Strom- und Spannungsspulen oder Spulen, die an verschiedenen Phasen liegen. Bei der Drehung hat die Scheibe das leicht justierbare Gewicht 7 zu heben, das am Schluß den Schalter 8 schließt, wodurch ein Ausschaltmagnet (siehe a Fig. 245) betätigt wird. Das Relais kann auf dem Schalter (Fig. 312) oder abseits davon montiert werden.

Digitized by Google

Die Ausschaltebewegung eines Automaten für Doppelstromgeneratoren muß durch die Summenwirkung zweier Spulen eingeleitet werden, eine wird vom Gleichstrom, eine vom Wechselstrom durchflossen.

20. Zeit-, Rückstrom- und Fernschalter.

Die Konstruktion der Zeitelemente, welche die Unterbrechung umsomehr zu verzögern haben, je kleiner der Ueberstrom ist, ist eine recht schwierige Aufgabe. Meist sind diese Apparate auch recht teuer

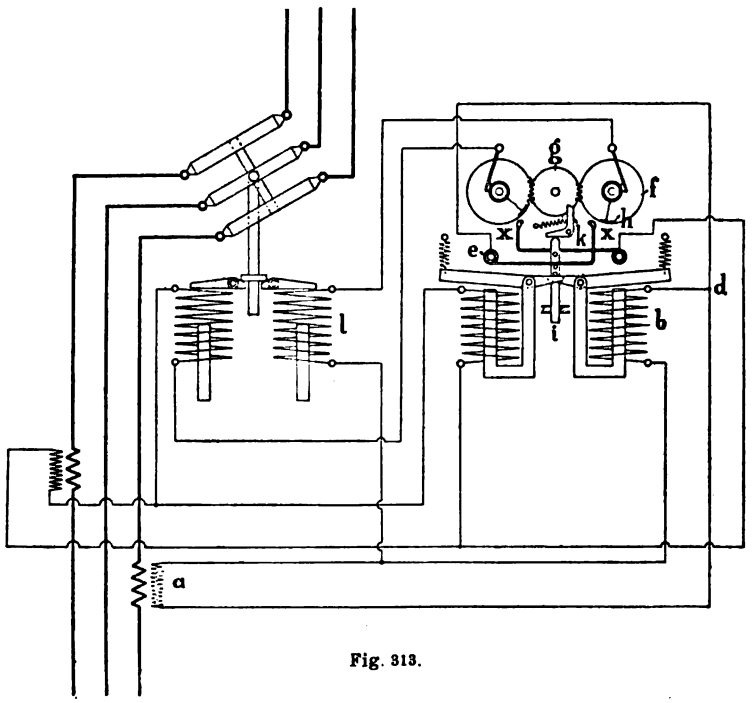


Fig. 313.

oder aber unzuverlässig. Die ursprüngliche Konstruktion der General Electric Co.[1]) Fig. 313[2]) bestand in einem Uhrwerk: Die Stromtransformatoren a speisen den Magneten b, welcher bei einem gewissen Ueberstrom ein Antriebswerk g mit Hilfe von k auslöst und die Kontaktfedern x anpreßt. Kommt nun bei der Drehung der isolierten Scheibe f der Kontakt h mit x und e in Berührung, so wird der Auslösemagnet l erregt, worauf die Scheibe f noch weiter läuft bis in die Anfangsstellung des Kontaktes h. Hört der Ueberstrom auf, bevor die

[1]) Die selbsttätigen Oelschalter der Gen. El. Co. finden sich in Electrical World, 16. Aug. 1902, S. 249 beschrieben.

[2]) E.T.Z. 1903, Gerhardt.

Digitized by Google

Scheibe f Kontakt hergestellt hat, so wird vorher die Bürste x wieder abgehoben und f vollendet ohne weitere Wirkung die Drehung. Ein neueres einfacheres Zeitelement ist der Gen. El. Co. nach Fig. 314 in E. P. 16740 vom Jahre 1903 geschützt. An dem beweglichen Eisenkern 4 ist ein Dämpfer angebracht, der aus einem Flüssigkeitsbehälter mit einem nachgiebigen Diaphragma aus Känguruhleder besteht. Nach Zurücklegung eines gewissen Schaltweges schließen die Kontakte 19 und 20 einen lokalen Stromkreis, welcher den Hauptschalter unterbricht.

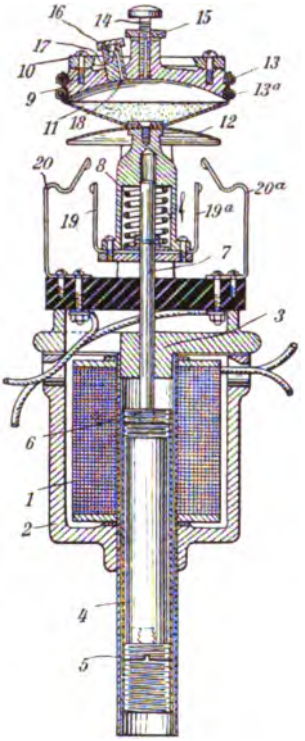


Fig. 314.

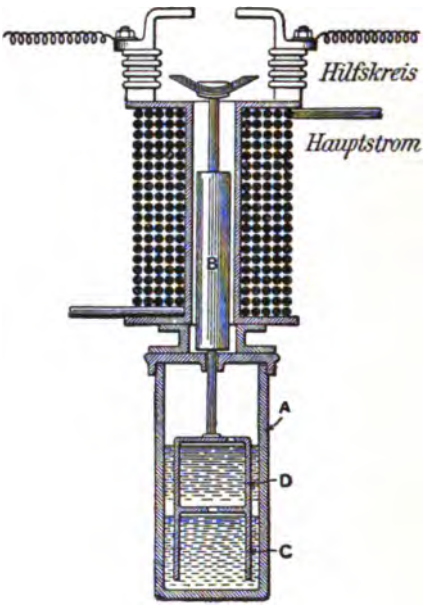


Fig. 315.

Vibrationen in der Bewegung des Kernes 4 werden durch die Spiralfeder f abgedämpft. Oberhalb des Topfes ist ein feines Auslaßventil 14 vorgesehen, durch welches die Luft nach außen gedrückt wird. Außerdem ist noch ein Kugelventil 16 angebracht. — Von verschiedener Seite wurden auch ganz einfache Luftdämpfer nach Art eines Kolbenkompressors als Zeitelement benützt. Mit der Zeit und Abnützung verändern sich jedoch solche Apparate sehr stark. Verwendet man Oel als Dämpfflüssigkeit, so können Schwierigkeiten durch entweichendes Oel und durch Erwärmung entstehen. Ein recht einfaches Zeitrelais mit Oel gibt Andrews (Fig. 315): Der Kern B muß einen mit geeigneten Löchern versehenen Hohlzylinder vertikal in einem Oeltopf vorschieben.

Digitized by Google

Die Firma Voigt & Häffner versieht ihre Oelschalter mit einem Windflügelzeitelement[1]). Das Schema hiezu kann aus Tafel V oben links

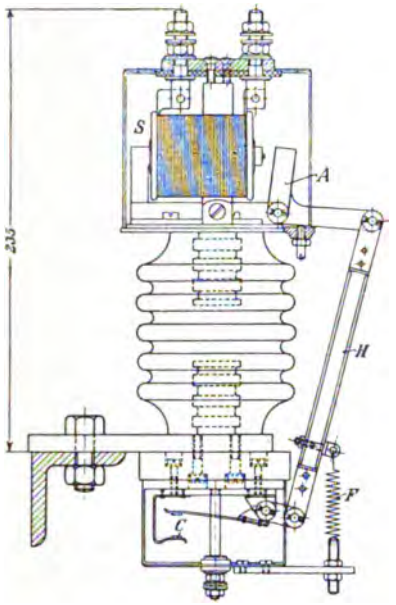


Fig. 316.

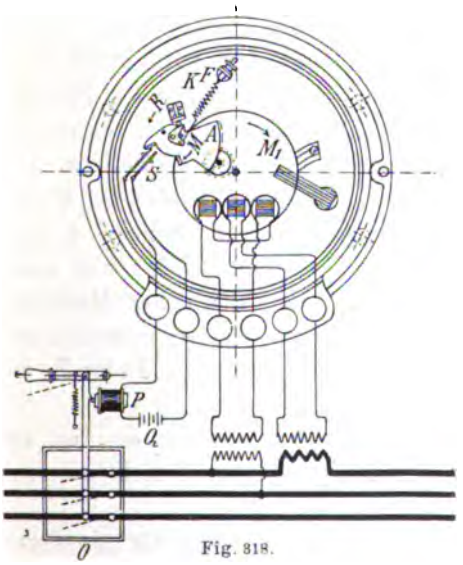


Fig. 318.

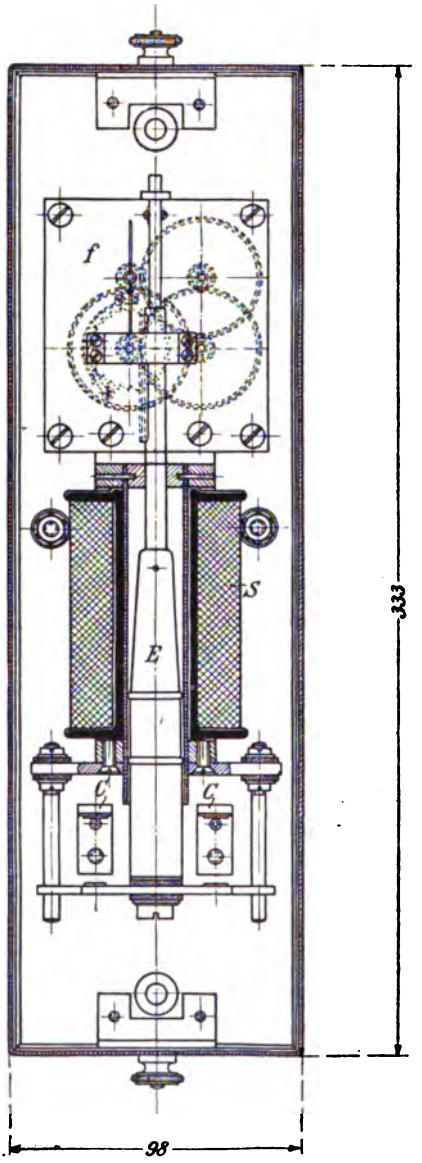


Fig. 317.

entnommen werden: Erst schließt eines der Hochspannungsstromrelais x oder y den Schalter M oder N, wodurch von den Erreger- oder Gleich-

[1]) Siehe E.T.Z. 1903, S. 605 Vogelsang.

Digitized by Google

stromsammelschienen Strom in die Spule H des Zeitrelais geschickt wird. Dieses schließt dann nach einer gewissen Zeit einen weiteren Stromkreis, in dem die Schaltspule E liegt. Diese gibt nun die Klinke D frei, so daß der Hauptschalter A durch Federkraft geöffnet wird. Nach vollendeter Ausschaltung bringt der Hilfsschalter B eine Kontrolllampe F zum Aufglühen. Die Durchbildung des Hochspannungsrelais ist aus Fig. 316 zu entnehmen: Durch die Spule S fließt der Hauptstrom, überschreitet er einen bestimmten Grenzwert, so wird der Anker A angezogen, dessen Bewegung eine Hartgummistange zum Schließen des Hilfsschalters C überträgt. Sinkt nun der Strom wieder unter das zulässige Maß, bevor das Zeitrelais den Hauptschalter geöffnet hat, so fällt der Anker A wieder ab, da die Feder F bei angezogenem Anker gespannt ist; außerdem ist der Luftspalt im magnetischen Kreis ziemlich groß. Das Zeitrelais nach Fig. 317 besteht aus der Spule S, in welche der Kern E eingezogen wird. Derselbe muß vermittels einer Zahnstange und einer vielfachen Zahnradübersetzung den Windfang f bewegen, so daß es einige Sekunden dauert, bis er den ganzen Hub, an dessen Ende die Kontakte CC überbrückt werden, zurückgelegt hat.

Das Maximalzeitrelais der A. E.-G. beruht nach Fig. 318 auf dem Induktionsprinzip. In dieser Skizze ist ein Maximalrelais M mit einem Rückstromrelais R kombiniert: drei Eisenkerne, deren Spulen an einem Strom- und einem Spannungstransformator liegen, beeinflussen eine Aluminiumscheibe. Bei Ueberschreitung des Höchststromes dreht sich diese im Sinne des Pfeiles M_1, diese Bewegung wird durch eine Reihe Zahnräder auf eine Scheibe A übertragen, welche nach Zurücklegung eines gewissen Weges, was je nach der Größe des Ueberstroms mehr oder weniger Sekunden benötigt, den Schalter S kurzschließt. Die Folge ist, daß eine Hilfsstromquelle mit Hilfe der Relaisspule P den Oelschalter O ausklinkt. Bei Rückstrom dreht sich die Scheibe A umgekehrt in der Richtung des Pfeils R und schließt wieder und zwar diesmal in kurzer Zeit den Hilfsschalter S. Die eigentlichen Maximalzeitrelais werden von zwei Stromtransformatoren zweier verschiedener Phasen gespeist. Die Stromeinstellung geschieht durch die Feder F, die Zeiteinstellung durch eine Anschlagschraube[1]).

In E. P. 16744 (Jahr 1903) ist ein Zeitrelais beschrieben, das, sobald es selbst funktioniert, alle übrigen verriegelt, damit nicht alle zumal ausschalten können.

In der Zentrale Morbegno der Valtellinabahn sind für die Fernleitung zwei Relais eingestellt, das eine schaltet bei einem Netzstrom von 50 Ampere einen bestimmten Widerstand in die Erregerkreise, wo-

[1]) Das Zeitrelais der A. E.-G. ist in D. R.-P. 159025 beschrieben; in D. R.-P. 159167 ist das von Siemens & Halske geschützt.

Digitized by Google

durch die Spannung um ein gewisses Maß erniedrigt wird. Funktioniert auch noch das zweite Relais für 100 Ampere, so wird die Spannung in gleicher Weise noch weiter erniedrigt[1]).

Eine der ältesten Konstruktionen eines Rückstromschalters (Stromumkehrschalters) ist die von Andrews (Fig. 307). Das Feld F eines kleinen Motors wird vom Hauptstrom des Wechselstromgenerators D_1 durchflossen. Der Anker wird von den Sammelschienen gespeist. Sein Drehmoment ist rechtsläufig und hält das Gewicht G fest und damit bleibt der Hauptschalter geschlossen. Dreht sich aber die Stromrichtung um, so wechselt auch der Drehsinn des Ankers und das losgelassene Gewicht G unterbricht den zugehörigen Maschinenstrom. Neuerdings hat Andrews vorgeschlagen, den Ausschalter durch einfache Signallampen nach Fig. 319 zu ersetzen. Bei dem gezeichneten Kraftlinienverlauf wird die Lampe B, die z. B. grün sein mag, aufleuchten, während die rote Lampe A bei umgekehrter Stromstärke sichtbar wird. Das Stromumkehrrelais a Fig. 320[2]) der General El. Co. besteht ähnlich wie das Andrewssche aus einem kleinen Wechselstromkommutatormotor, der vermittels des Schalters b den Auslösmagneten c erregt und damit den Hauptschalter öffnet, sobald der Drehsinn des Motors a durch Stromumkehr in den Stromtransformatoren in der Pfeilrichtung verläuft. Die umgekehrte Drehung verhindert ein Anschlag.

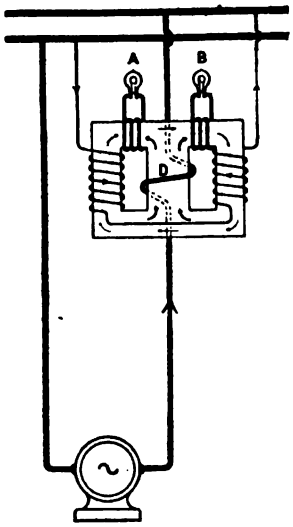


Fig. 319.

Das Rückstromrelais von Voigt & Häffner (E.T.Z. 1903, S. 605) enthält drei Spulen I, II und III (Fig. 321). I und II durchfließt der Hauptstrom, III liegt an der Spannung. I und II besitzen lamellierte Eisenkerne k, in III verläuft ein drehbarer Eisenstreifen, der zwei Arme A hat, welche über den Spulen I und II hin und her schwingen können. Bei normalem Strom liegen die Arme A über Kern I, bei Stromumkehr schwingen sie nach II und ein Hilfsstromkreis wird an dem Kontakt C geschlossen.

[1]) In E. P. 6490 v. J. 1903 beschreibt die Gen. El. Co. ein Zeitelement in Anwendung auf einen Hebelschalter. Dabei schwimmt der bewegliche Eisenkern wie ein hohler Kolben in einem mit Oel gefüllten Zylinder. Gegen Ende des Hubs hebt der Kern einen Stift, welcher den Eisenkern eines zweiten Solenoids ohne Oelfüllung in seine Spule hineinhebt. Erst dieser zweite Kern trifft auf eine Klinke, welche eine Ausschaltefeder freigibt; bei Kurzschluß wird der zweite Kern momentan angezogen.

[2]) Nach E.T.Z. 1903, Gerhardt.

Digitized by Google

Alle Automaten, die zum Schutze von Motoren verwendet werden, sollten mit einer Vorrichtung versehen sein, daß während des Anlassens auch bei großer Stromstärke keine Unterbrechung eintritt.

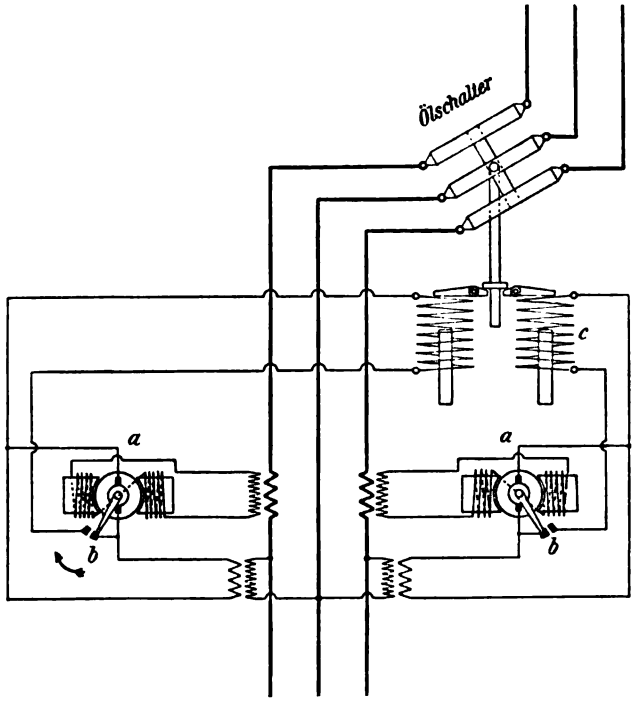


Fig. 320.

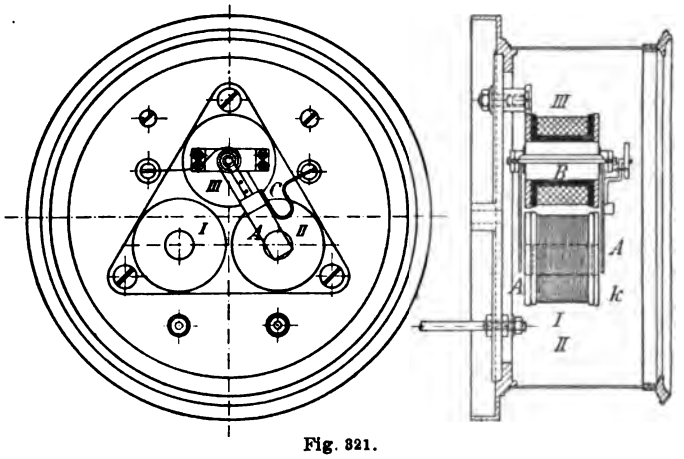


Fig. 321.

Die meisten selbsttätigen Unterbrecher kann man bei geeigneter Ausführung des Schaltmagneten auch als Fernschalter benützen, z. B. nach Schema Fig. 322 für einen Drehstrommotor. Der zugehörige

Digitized by Google

dreipolige Ausschalter für 100 Ampere und 500 Volt der Siemens-Schuckert-Werke ist aus Fig. 323 zu ersehen. In beiden Skizzen ist f die Schaltspule, welche den Schalter ausklinkt. Zur Betätigung solcher Fernschalter genügt unter Umständen im Gegensatz zu Fig. 322

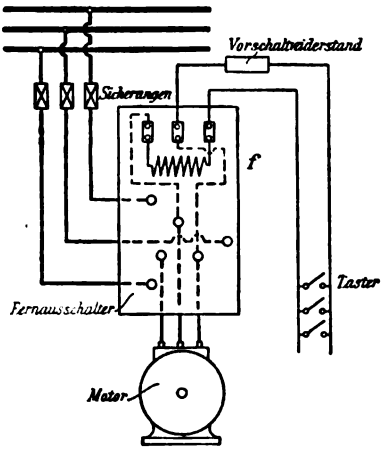


Fig. 322.

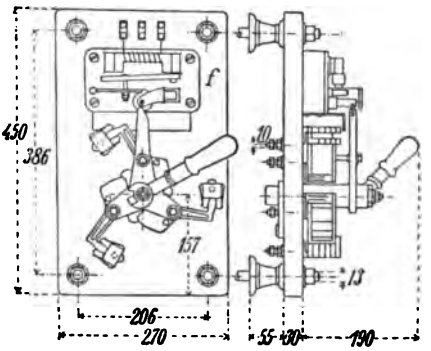


Fig. 323.

ein einziger Hilfsdraht. Die Konstruktionen von Fernschaltern, die von der Ferne ein- und ausgeschaltet werden, lassen sich einteilen:

1. in solche, bei denen die Schaltspulen so lange vom Strom durchflossen sind, als der Schalter geschlossen ist (Fig. 324),
2. in magnetisch gesperrte (Fig. 325),
3. in mechanisch gesperrte.

Um den Stromverbrauch der ersten Gruppe zu erniedrigen, kann bei geschlossenem Fernschalter vor die Schalterspule ein Widerstand w geschaltet werden (Fig. 324). Das Schema eines Schalters der Gruppe 2 zeigt Fig. 325. Um den Schalter d zu schließen, wird der Schalter u

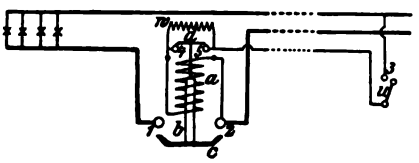


Fig. 324.

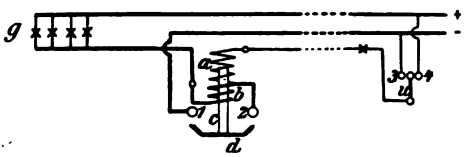


Fig. 325.

auf 3 gelegt, wobei die volle Netzspannung an die Spulen a und b über g gelegt wird. Sobald d jedoch 1 und 2 überbrückt, wird nur noch die Spule b vom Hauptstrom erregt. Zum Oeffnen wird u auf 4 gestellt (E.T.Z. 28. Juli 1904, Lindenstruth und Forster).

Die Fernschalter für Hochspannung dürften in ausgedehnten Netzen zum Auffinden von Telephonstörungen, zum Abschalten von leerlaufen-

Digitized by Google

den, energieverzehrenden Transformatoren u. a. noch eine große Zukunft haben. Diese Abschaltungen werden jetzt vielfach in kostspieliger und zeitraubender Weise von Hand bewirkt, während bei eingebauten Fernschaltern durch Einlegen eines kleinen Hilfschalters in der Zentrale jede beliebige Sektion des Netzes momentan abgetrennt werden kann.

21. Relais und Schaltmagnete.

Die Berechnung der Abmessungen der Relais für die automatischen Schalter geschieht, sofern der magnetische Kreis im wesentlichen aus Eisen besteht, für Gleichstrom nach ähnlichen Prinzipien wie die von Feldspulen der Dynamomaschinen und bei Wechselstrom ähnlich wie bei Transformatoren[1]). Die Dimensionierung von Induktionsrelais dürfte zum guten Teil auf Grund rationellen Probierens geschehen, die Induktionen und Stromdichten wird man jedoch nach den gleichen Regeln wählen wie bei anderen Relais.

Beim Entwurf des Relais sind folgende Gesichtspunkte maßgebend:

1. Bei einem bestimmten Erregerstrom muß eine bestimmt festgelegte Zugkraft entwickelt werden.

2. Die Verluste und die Erwärmung in den Relaisteilen müssen mäßig sein. Die Verluste sind bei Gleichstrom lediglich Stromwärme $J^2w = \frac{E^2}{w}$; bei Wechselstrom treten Wirbelströme und Hysteresis hinzu.

Die Zugkraft P, die ein Solenoid auf einen Eisenkern ausübt, läßt sich schwer im voraus berechnen. Der Verlauf von P in Abhängigkeit des Abstandes Kernmitte von Spulenmitte ist aus den Fig. 326 u. 327 für einen kurzen und einen langen Kern zu entnehmen. Die Zug-

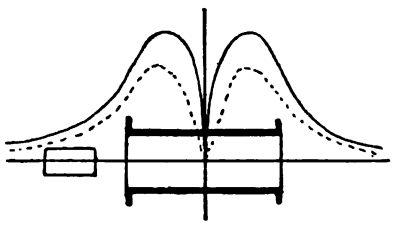


Fig. 326.

kraft ist immer über Mitte Kern aufgetragen. Sie ist bei sonst gleichen Verhältnissen $i^2z^2\sqrt{d}$ proportional, falls i der Strom in der Spule, z ihre Windungszahl und d der Kerndurchmesser ist, wenn dieser nicht gesättigt ist. Der Verlauf der Zugkraft hängt sehr stark von der Form-

[1]) Siehe Bd. I sowie Bd. II (Transformatoren und Drosselspulen).

Digitized by Google

gebung des Kernes ab, wie dies Fig. 327 zeigt, worin die spitze Kurve für einen zylindrischen Kern, die flache für einen wulstigen Kern gilt.

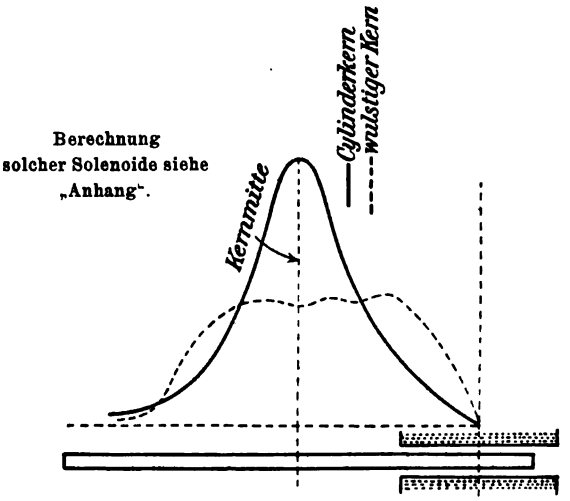


Fig. 327.

Für Elektromagnete mit nahezu eisengeschlossenem Magnetkreis handelt es sich in der Regel um die Zugkraft in einer durch Luft oder anderes nichtmagnetisches Material überbrückten Trennungsfuge in diesem Kreise. Ist B die Induktion im Luftspalt zwischen den Flächen und F der Querschnitt der Fuge in cm^2, so ist die Anziehungskraft der beiden Flächen

$$P = \left(\frac{B}{5000}\right)^2 F \text{ in kg}, \quad . \quad . \quad (4)$$

wobei $B = 20000$ ($P = 16$ kg/cm^2) schon ein hoher Wert und $B = 30000$ ($P = 36$ kg/cm^2) ein Grenzwert sein dürfte. Praktisch wird selbst $B = 20000$ nur ausnahmsweise erreicht.

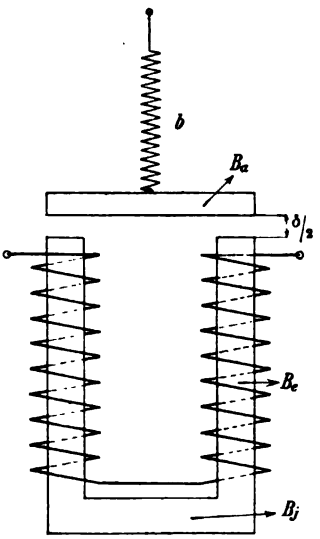


Fig. 328.

Ist B nicht gleichmäßig über den Querschnitt verteilt, so hat man

$$P = \int_0^F \left(\frac{B}{5000}\right)^2 dF \quad . \quad . \quad (5)$$

über den ganzen Querschnitt oder einen Mittelwert von B^2 zu suchen. Sind die Flächen der beiden Trennfugen nicht gleich, so setzt man bei großem Luftspalt am besten nur den Wert für die kleinere Fläche ein.

Man wählt nun die Induktionen im Eisenkern B_e, im Joch B_j, im

Digitized by Google

Anker B_a und im Luftspalt B (Fig. 328) und zwar bei Gleichstrom $B_e = B_j = B_a = 10000$ bis 15000, B eher noch etwas größer durch Zuspitzen der Polschuhe gegenüber dem Anker. Der Gesamtflux Φ im Relais ist, abgesehen von der Streuung,

$$\Phi = B \,.\, F = B_e \,.\, F_e = B_j \,.\, F_j = B_a \,.\, F_a.$$

Er ergibt sich bei gewähltem B im Luftspalt aus der Zugkraft P, da

$$F = \frac{P}{(B/5000)^2}.$$

Bei genaueren Rechnungen ist zu beachten, daß zwischen den Schenkeln des Elektromagneten ein Streuflux Φ_s verläuft, so daß im Kern und Joch der Flux $\Phi + \Phi_s$ vorhanden ist, während im Anker und in Luft nur Φ ist. Φ_s berechnet sich nach Bd. I S. 62 u. 70. $\frac{\Phi + \Phi_s}{\Phi}$ wird in der Regel 1,2 bis 1,5 sein. Zu obigen Induktionen entnimmt man nun aus Magnetisierungskurven[1]) die zugehörigen aw pro cm Länge. Die gesamten AW[2]) des Relais Fig. 328 werden dann

$$AW = 0{,}8\,\delta \,.\, B + aw_a \,.\, l_a + aw_e \,.\, l_e + aw_j \,.\, l_j, \quad . \quad . \quad (6)$$

wenn l_a, l_e, l_j die magnetischen Weglängen der betreffenden Teile sind. Bei Vernachlässigung der Eisenwege[3]) wird $AW = 4000\,\delta\sqrt{\frac{P}{F}}$.

Ist der Strom i im Relais bekannt, so wird die Windungszahl z

$$z = \frac{AW}{i}.$$

Der Querschnitt q des Spulendrahts kann zunächst nach der Stromdichte, z. B. $i_s = 1{,}5$ bis 5 Amp./qmm je nach der Drahtstärke und nach der Dauer des Stromdurchgangs ermittelt werden

$$q = \frac{i}{i_s}.$$

Die Querschnittsform ist bei kleineren Strömen Runddraht, bei großen Flach- oder Hochkantkupfer.

Handelt es sich um Spannungsspulen, so ist die Klemmenspannung e an der Spule bekannt. Dafür gilt zur Ermittlung von q die Beziehung

$$e = AW \,.\, \sigma \,\frac{u_m}{q}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

[1]) Bd. I, S. 61.

[2]) AW und aw = Amperewindungen.

[3]) Vernachlässigt man die Luft-AW, so wird $AW = 4000\,\frac{l}{\mu}\sqrt{\frac{P}{F}}$, wenn l die Eisenweglänge und μ die Permeabilität ist.

Digitized by Google

falls σ der Widerstandskoeffizient (= 0,02 für Kupfer) und u_m der mittlere Umfang einer Windung ist[1]). Man runde q möglichst stark nach oben ab und justiere den Erregerstrom noch durch einen Vorschaltwiderstand. Aus (5) findet sich q und aus

$$i = q \cdot i_s$$

der Strom in der Spule (i_s = 1,5 bis 5). Die Windungszahl z ist

$$z = \frac{AW}{i}.$$

Dieselbe ist in einer geeigneten Lagenzahl unterzubringen; anzusstreben ist eine Spulenlänge $\geq 2 \times$ Wickeltiefe; letztere sollte nur 5 bis 30 mm sein.

Der Widerstand der Relaisspule ist in jedem Falle

$$w = \sigma \frac{u_m z}{q}$$

und der Stromwärmeverlust $= i^2 w$.

Hat die Spule eine Oberfläche O in c^2, und zwar in der Regel rechnet man nur die Zylinderfläche, so ist die Erwärmung

$$T = C \cdot \frac{i^2 w}{O}. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

C = 200 bis 400, d. h. man kann bei $T = 30^0$ etwa 10 Watt pro qdm zulassen.

Die ganze obige Berechnung gilt für die Zeit, bevor der Anker angezogen wird. Sobald der Anker sich dem Spulenkern nähert, werden die Induktionen und die Zugkraft P wesentlich höher. In der Regel läßt man den Anker nicht ganz auf das Eisen der Kerne kommen, sondern sorgt auch noch in der angezogenen Stellung für einen kleinen Luftspalt, etwa durch einen kleinen Anschlagstift aus Messing, um ein Klebenbleiben des Magneten beim Unterbrechen des Erregerstroms zu vermeiden.

In manchen Fällen handelt es sich darum, daß von dem Anker in den beiden Grenzlagen, die man durch Anschläge fixieren kann, bestimmte Zugkräfte P_1 und P_2 ausgeübt werden. Dann geht man am besten so vor, daß man in Abhängigkeit des Fluxes Φ für das gegebene Magnetgestell, soweit es Eisen ist, die AW_e bestimmt, also ohne Rücksicht auf den Luftspalt δ. Nun entspreche der Zugkraft P_1 die Luftinduktion B_1 und damit der Flux Φ_1, der Zugkraft P_2 die Luftinduktion B_2 und der Flux Φ_2. Die Spule sei bereits mit Rücksicht auf P_1 und einen dazu gehörigen Luftspalt δ_1 dimensioniert. Die Linie

[1]) u_m in m, q in qmm.

Digitized by Google

AW_e Fig. 329 sind die AW für Eisen in Abhängigkeit des Fluxes Φ und AW_l diejenigen für Luft bei einem Spalt δ_1. Nun mache $oa = \Phi_1$, ziehe $bae \perp O\Phi$, $od = \Phi_2$, $cdf \perp O\Phi$, $eg \parallel bc$. Dann ist der Luftspalt

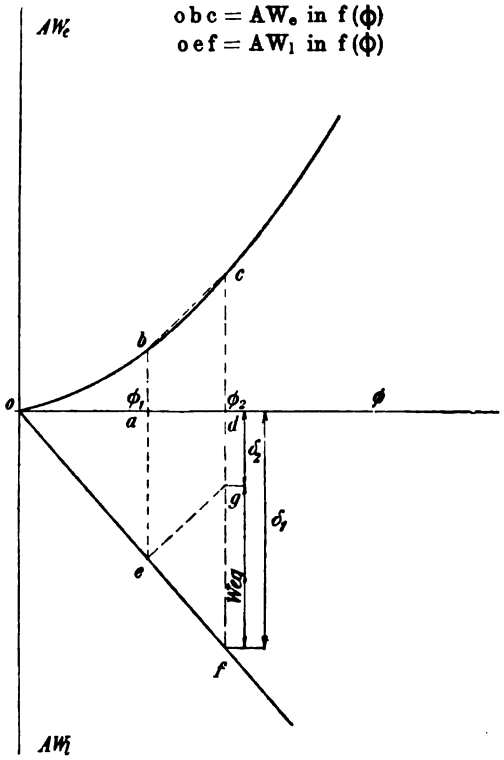


Fig. 329.

δ_2, der P_2 entspricht, bei gleichen Gesamt-AW (konstantem Erregerstrom) von der Größe

$$\delta_2 = \delta_1 \frac{gd}{fd}.$$

Durch Anordnung von Polschuhen läßt sich an einem gegebenen Gestell stets die Zugkraft verändern. Ist z. B. B die Induktion und F der Querschnitt ohne Polschuh, so ist die Zugkraft $P_1 = \left(\frac{B}{5000}\right)^2 F$ und die erforderlichen $AW_1 = 0{,}8\, B\delta$; spitzt man die Polflächen auf den Querschnitt $\frac{F}{2}$ zu, so wird bei gleichem Gesamtflux $B \cdot F$ jetzt die Zugkraft $P_2 = \left(\frac{2B}{5000}\right)^2 \frac{F}{2} = 2P_1$, aber auch die AW_2 werden $= 2\,AW_1$. Verbreitert man den Polschuh, so sinken die Zugkraft und die AW.

Digitized by Google

Die Berechnung von eisenumschlossenen Spulen nach Fig. 330, in die ein Eisenkern eingezogen wird, berechnet man genau wie für Fig. 328 angegeben, wobei $0{,}8\,\delta\,B$ die Summe aller Luft-AW ist. Die AW für den Spalt bei a kann man klein halten, wenn der Uebergangsquerschnitt groß genommen wird. Durch geeignete Formgebung des Kerns läßt sich der Verlauf der Zugkraft in Abhängigkeit des Hubs beliebig beeinflussen, wie dies Fig. 331 zeigt. Kurve 1 gilt für einen zugespitzten, Kurve 2 für einen abgerundeten Kern. Auch in der Anordnung Fig. 330 ist mit einem Kreiskoeffizienten von etwa 1,2 bis 1,5 zu rechnen, d. h. der Flux im Joch ist etwa 1,2mal so groß wie im Kern, zweckmäßig liegt der Luftspalt in der Nähe der Spulenmitte.

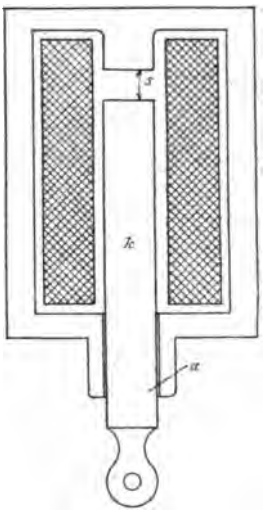


Fig. 330.

Bei Wechselstrom ist die Zugkraft P, falls alles Eisen gut unterteilt ist

$$P = \left(\frac{B_{eff}}{5000}\right)^2 F = \left(\frac{B_{max}}{7000}\right)^2 F. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

B_{eff} ist der Effektivwert der Luftspaltinduktion $= \sqrt{\frac{\int B^2 dF}{F}}$, B_{max} der Maximalwert, Sinusform vorausgesetzt.

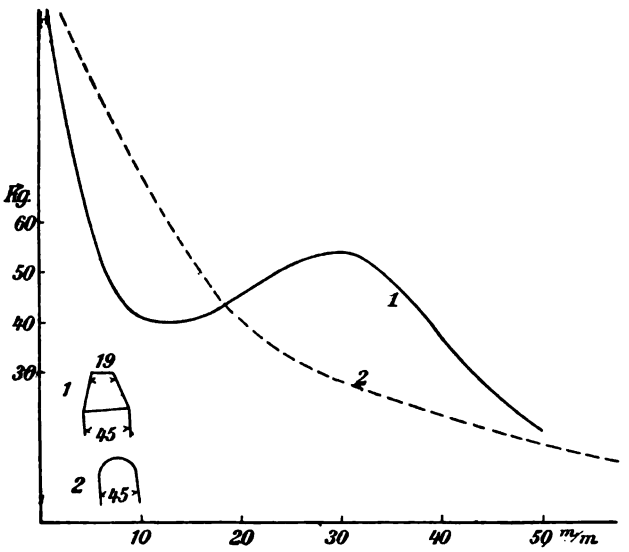


Fig. 331.

Da nun der ganze Magnetkreis mit Rücksicht auf B_{max} zu dimensionieren ist, so fällt bei sonst gleichen Verhältnissen der Wechselstrom-

Digitized by Google

magnet mindestens $\frac{49}{25} = \sim 2$mal schwerer aus als ein Gleichstrommagnet. Eine Vergrößerung der Abmessungen ist auch durch die Hysteresis- und Wirbelstromverluste bedingt. Für 50 Perioden sollten die Maximalwerte der Eiseninduktionen[1]) B_a, B_j, B_e möglichst kleiner als 10000 sein, was den Wert der Luftinduktion noch weiter reduziert. Hat man zur Erzielung der erforderlichen Zugkraft P für den Luftspalt B_{max} und F geeignet gewählt, so berechnet man die magnetisierenden AW

$$AW_{max} = 0{,}8\, B_{max}\, \delta + aw_a\, l_a + aw_e\, l_e + aw_j\, l_j. \quad . \quad . \quad (10)$$

Ferner ist nun, falls J_μ der effektive Magnetisierungsstrom und $\mathfrak{z}$ die Windungszahl ist,

$$\sqrt{2}\, J_\mu\, \mathfrak{z} = AW_{max} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

und die vom Flux $\Phi = B \,.\, F$ erzeugte E.M.K., Sinusform vorausgesetzt,

$$E_s = 4{,}44\, n\, \mathfrak{z}\, \Phi \,.\, 10^{-8} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

(n = Periodenzahl), E_s steht senkrecht zu J_μ und wird meist E.M.K. der Selbstinduktion genannt.

Sind die Hysteresis- und Wirbelstromverluste im ganzen Relaisgestell A_{H+W}, die für die gewählten Induktionen aus Bd. I S. 179 zu entnehmen sind, so ist der Wattstrom in der Spule

$$J_w = \frac{A_{H+W}}{E_k}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

sofern E_k die Klemmenspannung an derselben ist. Der gesamte Strom in der Spule ergibt sich dann zu

$$J = \sqrt{J_w^2 + J_\mu^2}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14)$$

Der Ohmsche Widerstand der Spule ist wie bei Gleichstrom

$$w = \sigma\, \frac{\mathfrak{z}\, u_m}{q}$$

und der Ohmsche Abfall

$$J\, w.$$

Für die Klemmenspannung an der Spule gilt die Beziehung

$$E_k = \sqrt{J^2 w^2 + E_s^2}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (15)$$

Die Phasenverschiebung φ zwischen J und E_k ist für $A_H + w = o$ gegeben durch den Ausdruck

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{E_s}{J\, w}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (16)$$

[1]) Fig. 328.

Digitized by Google

allgemein ist aber angenähert

$$\varphi = \text{arc}\left(\text{tg} = \frac{E_s}{J w}\right) - \text{arc}\left(\text{tg} = \frac{J_w}{J_\mu}\right). \quad . \quad . \quad (17)$$

Handelt es sich nun um ein Spannungsrelais, so ist E_k gegeben, für ein Stromrelais ist aber J bekannt. Im letzten Fall ist in erster Annäherung, so lange die Ohmschen und Hysteresisverluste klein sind,

$$\mathfrak{z} = \frac{AW_{max}}{\sqrt{2}\,J}$$

und die Klemmenspannung an der Spule ist aus Gl. 12 zu entnehmen. Tatsächlich muß man aber $\mathfrak{z}$ etwas größer machen, was an Hand der Formeln 14 u. 15 zu kontrollieren ist. Auch bei Spannungsrelais kann man erst $E_s = E_k$ setzen, dann ist

$$\mathfrak{z} = \frac{E_k}{4{,}44\,n\,\Phi\,.\,10^{-8}}$$

und

$$J_\mu = \frac{AW_{max}}{\sqrt{2}\,.\,\mathfrak{z}}.$$

Wegen der Ohmschen und der Eisenverluste ist hier $\mathfrak{z}$ jedoch tatsächlich kleiner zu machen.

Den Querschnitt q bestimmt man wieder aus $\frac{J}{i_s}$. Bei starken Strömen ist derselbe indes wegen des Oberflächeneffektes und der Wirbelstrombildung stark zu unterteilen. Besser vermeidet man diese starken Ströme ganz und legt die Stromrelais hinter geeignete Stromtransformatoren.

Die Spulenerwärmung ermittelt sich aus Gl. 8, außerdem ist aber noch die Temperaturerhöhung T_e des Eisens anzugeben:

$$T_e = C_e \frac{A_{H+W}}{O_e}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (18)$$

O_e = freiliegende Oberfläche des Eisengestells und C = 600 bis 800.

Wechselstromrelais, bei denen der Ohmsche Abfall die Selbstinduktion E_s weit überwiegt, kann man zunächst wie Gleichstromrelais berechnen.

Sobald sich der Luftspalt eines Spannungsrelais für Wechselstrom ändert, so tritt auch ein wesentlich anderer Relaisstrom auf, was bei Gleichstrom bekanntlich nicht der Fall ist. Es ist nämlich angenähert der Relaisstrom

$$J_\mu = \frac{AW_{max}}{\sqrt{2}\,.\,\mathfrak{z}} = 0{,}57\,\frac{B_{max}\,.\,\delta}{\mathfrak{z}} = \frac{E_s\,.\,\delta\,.\,10^8}{7{,}8\,n\,\mathfrak{z}^2\,J} \quad . \quad . \quad (19)$$

Da B_{max} E_s gleich angenähert E_k, das konstant ist, proportional ist, so ist der Relaisstrom J_μ direkt δ proportional, d. h. vor dem Anziehen

Digitized by Google

ist derselbe sehr groß und kann nach erfolgter Ankerbewegung auf $^1/_{10}$ bis $^1/_{20}$ sinken. Der $\cos\varphi$ des Relaiskreises ist dabei für großes δ kleiner wie für kleines δ. — Bei Hauptstrommagneten, wo J konstant bleibt, ändert sich mit δ die Spannung E_s und zwar wächst sie mit abnehmendem δ, d. h. das Relais absorbiert umsomehr von der Netzspannung, je kleiner δ ist.

Die Zugkraft der Wechselstrommagnete steigt in der Regel bei abnehmendem Luftspalt viel weniger an als bei Gleichstrom, ja sie ist bei allen Luftspalten δ praktisch konstant, sofern der Ohmsche Abfall in der Relaisspule klein ist, da die Induktion im Luftspalt sehr nahe proportional der Klemmenspannung an der Spule ist, die konstant bleibt.

Den Strom in der Relaisspule kann man auch bei $J_w = o$ aus

$$J = \frac{E_k}{\sqrt{w^2 + (2\pi n L_1)^2}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (20)$$

berechnen, worin $L_1 = \frac{1{,}26\,z^2}{W_m}$ = angenähert $\frac{1{,}26\,z^2}{\delta/F}$ ist (W_m = magnetischer Widerstand des Relaiskreises).

Die Zugkraft der Wechselstrommagnete ist eine mit der Netzperiodenzahl n von Null zu einem Maximum schwankende Größe. Diese Schwankungen und dann die Ummagnetisierung des Eisens haben zur Folge, daß Wechselstrommagnete eine ausgesprochene Neigung zu Vibrationen und zu Geräuschbildung (Brummen) haben. Durch soliden Aufbau läßt sich das Geräusch in der Regel in mäßigen Grenzen halten.

Für Drehstrom gibt man dem Relais wohl auch 2 bis 4 Kerne mit Spulen der verschiedenen Phasen. Die Berechnung pro Phase bleibt dieselbe wie angegeben, es addieren sich bei zusammengebautem Relais die Kraftwirkungen der einzelnen Phasen. Mehrphasige Relais haben den Vorteil, daß sie schon wirken, wenn in einer beliebigen Phase der Strom oder die Spannung anormal wird.

Bezüglich der Berechnung von Relais, die dem Prinzip nach Induktionsmotoren sind, muß auf Bd. II verwiesen werden.

Es können übrigens die Konstruktionen sämtlicher Meßinstrumente, wie sie im nächsten Abschnitt besprochen werden, als Relais Verwendung finden. Der für diesen Fall geeignet gestaltete Zeiger hat dann den Hilfsstromkreis zu schließen.

Als Gegenkraft P_g, die die magnetische Zugkraft P aufnimmt, kommen meist Spiralfedern, Torsionsfedern und Blattfedern zur Anwendung. Das Relais tritt in Bewegung, wenn das Drehmoment der magnetischen Kraft gleich dem der Federkraft ist, in Wirklichkeit ist noch ein zusätzliches Moment für Reibung erforderlich.

Digitized by Google

Für die rechteckige Blattfeder von der Länge l ist (alles in cm)

$$f = \frac{P_g l^3 \cdot \alpha}{3\Theta} = 4\,\frac{l^3 P_g \cdot \alpha}{b h^3} = \frac{2}{3}\,\frac{l^2}{h}\,k_b \cdot \alpha, \quad . \quad . \quad (21)$$

falls f die Durchbiegung, Θ das Trägheitsmoment des Querschnitts $b \times h$, α der Dehnungskoeffizient und k_b die Beanspruchung in kg/c^2 ist.

Für die Torsionsfeder aus Runddraht ist

$$f = \frac{P_g \cdot \alpha}{\Theta}\,l r^2 = \frac{64}{\pi}\,\frac{P_g l r^2 \cdot \alpha}{d^4} = 2\,\frac{r l \cdot \alpha}{d}\,k_b. \quad . \quad (22)$$

Dabei ist d der Durchmesser des Drahtes, l die gestreckte Länge der Feder und r der Hebelarm für P_g (in kg).

Schließlich kommt noch die Spiralfeder aus Runddraht in Frage:

$$f = \frac{64 n r^3}{d^4}\,P_g \cdot \beta = \frac{4\pi n r^2}{d}\,k_d \cdot \beta, \quad . \quad . \quad . \quad (23)$$

n = Windungszahl, d = Drahtdurchmesser, r = mittlerer Radius der Windungen, k_d = Biegungsbeanspruchung, β = Schubkoeffizient ($= \sim 2{,}6\,\alpha$).

Für Federstahl ist $\alpha = {}^1/_{2200000}$,

$\beta = {}^1/_{850000}$,

für Messingdraht $\alpha = {}^1/_{1000000}$.

Bei der Anordnung der Federn ist darauf zu achten, daß sie nicht durch Erwärmung [1]) in ihrer Leistungsfähigkeit verändert werden. Anderseits muß es auch wirksam vermieden sein, daß feste und bewegliche Teile sich ineinander festpressen oder festschmoren, da dann keine Federkraft den Schalter mehr öffnen kann. In dieser Hinsicht sind Druckkontakte (Fig. 301) besser als Reib- oder Messerkontakte (Fig. 302).

Bei der Auswahl der Materialien ist ferner darauf zu achten, daß die stromführenden Kontakte sich nicht durch Rost festsetzen können.

Auf Fahrzeugen und Hebezeugen können die auftretenden Stöße die Arbeitsweise der Automaten beeinflussen, wenn nicht kräftige Auslösemagnete und starke Federn benützt werden.

Alle Schalter, ob selbsttätig oder nicht, ebenso alle Sicherungen und alle anderen Apparate sind gegen Gestell und zwischen zwei nicht überbrückten Kontakten, d. h. z. B. bei offenem Schalter oder herausgenommener Sicherung, mit 1000 Volt Wechselstrom zu prüfen, bei über 500 Volt Betriebsspannung mit mindestens doppelter Betriebsspannung.

[1]) D. h. sie sollen selbst keinen Strom führen, aber auch nicht in der Nähe erwärmter Kontaktteile liegen und auch nicht dem Unterbrechungsfunken ausgesetzt sein.

Digitized by Google

V. Meßinstrumente.

22. Anforderungen an Schalttafelinstrumente.

Dieses Gebiet ist in Niethammer, „Elektrotechnisches Praktikum", ausführlich behandelt[1]), so daß ich mich hier kurz fassen kann. Die Zahl und die Anordnung der Meßinstrumente, von denen für Schalttafeln nur direkt zeigende zu verwenden sind, geht bereits aus den früher gegebenen Schaltungsschemen hervor. Es ist davon abzuraten, Schalttafeln, besonders solche in kleinen Anlagen, mit Meßinstrumenten zu überladen. Für eine Drehstromanlage ist z. B. absolut nötig nur ein Wechselstromamperemeter, ein Feldamperemeter in jedem Maschinenkreis, ein Synchronisiervoltmeter und ein Amperemeter pro Speiser. In großen Zentralen findet man allerdings unter Umständen pro Maschine und pro Speiser drei Amperemeter, drei Voltmeter, ein Wattmeter, einen Zähler, ja auch noch Phasenmesser und Frequenzmesser. In Hochspannungsanlagen werden sämtliche Meßinstrumente an die Sekundärwicklungen von Spannungs- und Stromtransformatoren angeschlossen. Ein Punkt dieses Sekundärkreises und ebenso die Gehäuse sämtlicher Instrumente werden geerdet. Aus Preisrücksichten verwendet man häufig gemeinsame Transformatoren, die gleichzeitig verschiedene Meßapparate und Relais versorgen, dann muß aber auch die Eichung in dieser Schaltung erfolgen.

Für Schalttafelinstrumente ist nicht nur ihre Genauigkeit an sich von Bedeutung, sondern auch die Wirkung äußerer Einflüsse, z. B. von Magnetfeldern, Strömen, sowie derjenige von Temperaturänderungen. Da die Höhe der Genauigkeit sehr eng mit dem Preis verknüpft ist, so scheint die Bemerkung sehr angezeigt, daß die Genauigkeit an sich nicht viel nützt, da sie gewöhnlich durch äußere Einflüsse sehr stark beeinträchtigt wird. Amperemeter in den Speisern und Generatorleitungen brauchen aber auch nur auf 5 bis 10 % genau zu zeigen, Voltmeter

[1]) Siehe auch Journ. Inst. El. Eng. London 1904, Edgcumbe & Punga.

Digitized by Google

allerdings auf ½ bis 1 %. Ganz besonders wichtig ist die Genauigkeit der Zähler, sofern die Energie verkauft wird. Volt- und Amperemeter sollten eine große weithin sichtbare Skala haben. Zähler sind eigentlich nur in den Speisern erforderlich. In Anlagen mit Dampf- und Wasserbetrieb mag es allerdings wünschenswert sein, die von der Dampfkraft gelieferte Energie gesondert zu zählen; siehe auch die Anordnung der Zähler in Schema Fig. 109b.

Ein Schalttafelinstrument sollte folgende Eigenschaften haben; es sollte

1. genau zeigen;
2. dauernd seine guten Eigenschaften beibehalten;
3. frei von äußeren Beeinflussungen sein;
4. gut gedämpfte Zeigerablesung haben;
5. einfach und bequem zu montieren sein;
6. einfachen, nicht leicht reparaturbedürftigen Aufbau besitzen, im Notfall aber leicht zu reparieren sein;
7. deutliche Skala besitzen; die Skalenteile sollen im Bereich, wo das Instrument meist benutzt wird, am weitesten sein;
8. es soll gefällig aussehen.

Die Fehler der Meßinstrumente sind entweder mechanisch (Reibung) oder elektrisch (Hysteresis) oder es sind Eichfehler (falsche Skala oder Ablesefehler). Dem Wattverbrauch der Instrumente ist immerhin einige Beachtung zu schenken, obwohl er in der Kohlenrechnung fast verschwindet. Hitzdrahtinstrumente verbrauchen am meisten Energie, bei 500 Ampere 100 Watt, bei 200 Volt 30 Watt; Drehspuleninstrumente im gleichen Falle nur 40 bezw. 2 Watt.

23. Instrumententypen.

Die für Schalttafeln in Frage kommenden Typen sind folgende:

1. Drehspuleninstrumente, die für Gleichstrom eine große Verbreitung gefunden haben, genau zeigen, gut gedämpft sind, eine gute Skala und geringe Verluste haben. Man muß sie jedoch gegen äußere Felder und thermoelektrische Kräfte, d. h. Temperaturunterschiede einigermaßen schützen.

2. Weicheiseninstrumente oder Instrumente mit beweglichem Eisenkern, deren Fabrikation und Vervollkommnung mit der Zeit große Fortschritte gemacht hat, und die z. B. in Amerika fast ausschließlich für Wechselstrom verwendet werden. Es ist dies die billigste Schalttafeltype. Der Einfluß der Hysteresis, der Kurvenform und der Periodenzahl läßt sich auf ein ganz geringes Maß reduzieren. Auch der Wattverbrauch ist gering und die Skala läßt sich in genügender Weise

Digitized by Google

gleichmäßig machen. In neuerer Zeit wird diese Type von verschiedenen Firmen mit einer vollständig befriedigenden Luftdämpfung ausgerüstet. Die Beeinflussung durch äußere Ströme ist ziemlich groß, weshalb Zu- und Ableitung nahe beisammen zu verlegen sind. Stromschienen, die senkrecht zur Spulenachse verlaufen und diese schneiden, d. h. hinter der Spulenmitte verlaufen, sind am wenigsten gefährlich. Hartmann & Braun verlangen bei einem Fehler von ½ bis 1 % des Maximalwertes, daß Einzelleitungen bis 100 Ampere mindestens 16 bis 8 cm, solche von 300 Ampere 35 bis 20 cm und solche von 2000 Ampere 110 bis 80 cm vom Instrument abstehen.

Für vertikale Leitungen und Drehspuleninstrumente geben Schuckert für 500 Ampere einen Maximalabstand von 25 cm, bei 2000 Ampere von 70 cm; für horizontale Leitungen die Hälfte. Drehspuleninstrumente beeinflussen sich gegenseitig nicht, während das aber bei Weicheisenapparaten der Fall ist. Erstere können auch geneigt montiert werden. Die Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vorm. Schuckert & Co. macht für Weicheiseninstrumente (elektromagnetische Apparate) folgende Angaben:

Der Abstand zweier Instrumente muß mindestens 350 mm von Spulenmitte zu Spulenmitte betragen.

Jedes Instrument muß mindestens 1,5 m von der Dynamomaschine entfernt sein, ebenso ist eine entsprechende Entfernung von größeren Eisenmassen, Magneten und auch von Solenoiden (z. B. Relaisspulen) einzuhalten.

In trockenen Räumen wird die Glasplatte des Meßinstrumentes durch Putzen sehr leicht elektrisch und zieht dann den Zeiger an, so daß derselbe unrichtige Angaben macht. Diesem Umstande ist durch leichtes Anhauchen der Glasplatte sofort abgeholfen.

Genauere Messungen können mit den Spannungsmessern erst 20 Minuten nach dem Einschalten vorgenommen werden.

3. Hitzdrahtinstrumente haben in Europa, speziell in Deutschland, für Wechselstrom eine große Verbreitung gefunden, während man sie in Amerika fast gar nicht antrifft. Sie sind teuer und haben großen Effektverbrauch, ihr Nullpunkt ist etwas unsicher, der Hitzdraht zeigt eine Art Temperaturhysteresis, bei Ueberlast brennt er leicht durch, wobei selbst Sicherungen[1]) nicht genügend schützen, da eben der lange Hitzdraht der beste Schmelzdraht ist, der zuerst schmilzt. Sie sind jedoch unabhängig von der Periodenzahl und von äußeren Einflüssen, sie lassen sich mit Gleichstrom eichen und sind ordentlich gedämpft.

[1]) Hartmann & Braun haben in D. R.-P. 153868 eine besondere Spindelsicherung für Meßinstrumente angegeben.

Digitized by Google

4. Elektrostatische Instrumente werden, abgesehen von Erdschlußanzeigern, eigentlich nur in England für Schalttafeln verwendet. Sie haben meist große Reibungsfehler und geben bei Hochspannung leicht zu Ueberschlägen Veranlassung, die Ferranti durch eine Wasserrohr-

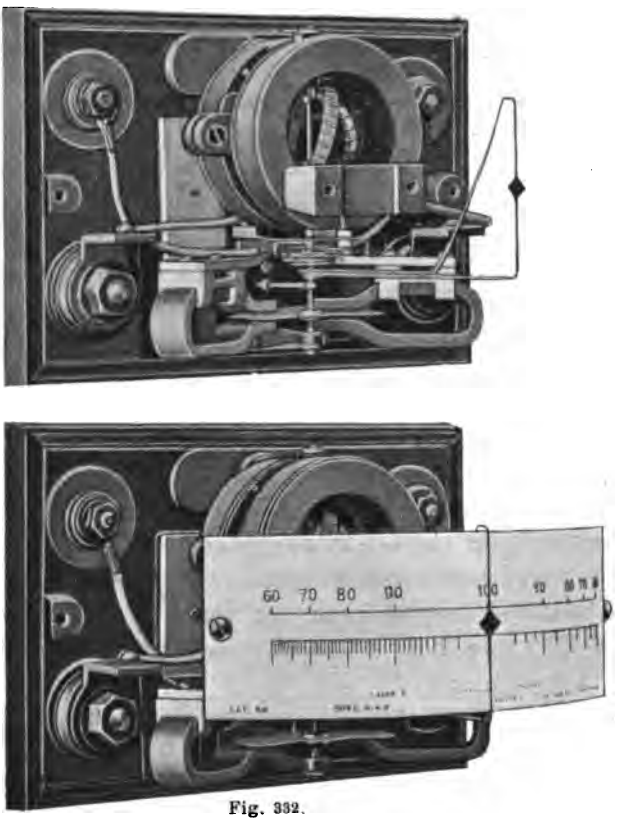


Fig. 332.
Leistungsfaktormesser der General Electric Co.

sicherung abdämpft. Sie haben praktisch keinen Effektverbrauch, lassen sich mit Gleichstrom eichen, sind unabhängig von äußeren Einflüssen, abgesehen von elektrostatischen.

5. Direkt zeigende Elektrodynamometer eignen sich für Amperemeter ziemlich schlecht, da sie sehr großen Wattverbrauch haben und auch etwas kompliziert ausfallen, für Voltmeter und besonders für Wattmeter werden sie jedoch in ausgedehntem Maße verwendet. Durch Verwendung von lamelliertem Eisen im magnetischen Kreise läßt sich ihre Empfindlichkeit wesentlich steigern.

6. Induktions- oder Ferrarisinstrumente eignen sich nur für Wechselstrom und sind für Amperemeter nicht besonders empfehlenswert, da sie stark abhängig von der Periodenzahl sind. Die Wellen-

Digitized by Google

form und die äußeren Felder sind in den praktischen Ausführungen nur von geringem Einfluß. Als Wattmeter wird diese Type häufig verwendet, sie ist aber auch dort abhängig von der Periodenzahl.

In dem Kapitel „Relais" ist bereits erwähnt, daß die Meßinstrumente auch als Relais ausgebildet werden können. Sie haben dann keine Skala, sondern der Zeiger schließt in zwei oder mehr Grenzstellungen mit Hilfe von Kontakten, die dauernd funkenfrei arbeiten sollen, einen Hilfsstromkreis, der Schalter, Widerstände, Lampen, Glocken etc. betätigt. Für Spannungszwecke nennt man diese Apparate wohl auch „Kontaktvoltmeter", das dafür zu sorgen hat, daß die Spannung z. B. innerhalb $\pm$ ½ % konstant bleibt.

Für Wattmeter wird, wie schon erwähnt, im wesentlichen nur das Dynamometer- und das Induktionsprinzip, selten das Hitzdrahtprinzip verwendet. Bei der ersten Type treten hauptsächlich Fehler durch die Selbstinduktion der Feldspule, dann durch die Kapazität der Wicklungen, durch Wirbelströme in den massiven Teilen und durch äußere Felder auf. Ueber 200 Ampere werden Transformatoren oder in seltenen Fällen auch Nebenschlüsse verwendet. Wattmeter und Zähler sollten ihren eigenen Verbrauch nicht mitmessen. Für Drehstrom sind nur Wattmeter und Zähler zu verwenden, welche den Gesamteffekt auch bei ungleichem Strom in den Phasen, nicht den pro Phase messen.

In Amerika werden in den Unterstationen mit Einankerumformern und Synchronmotoren vielfach Phasenmesser verwendet, die aber nicht auf dem ursprünglichen Induktionsprinzip wie das Instrument von Dobrowolski[1]) beruhen, sondern nach der Fig. 333[2]) geschaltet sind. Das Instrument hat nach Fig. 332 zwei bewegliche Spannungsspulen, die

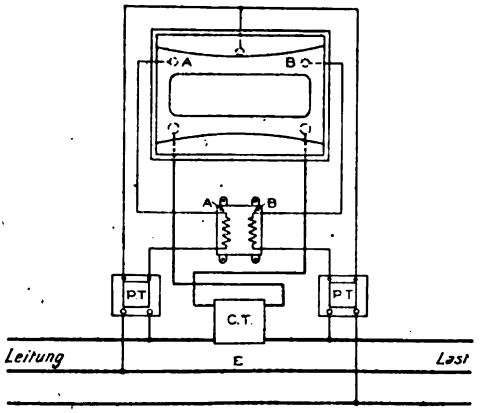


Fig. 333.

etwas gegeneinander geneigt sind und an zwei verketteten Netzspannungen liegen. Die festen Spulen werden vom Hauptstrom durchflossen

[1]) Siehe Niethammer, Elektrot. Praktikum Fig. 279.
[2]) Siehe auch loc. cit. Fig. 280.

Digitized by Google

und zwar von der Phase, an der beide verwendeten Netzspannungen liegen. PT (Fig. 333) sind Spannungstransformatoren, CT ein Stromtransformator und AB Vorschaltwiderstände. Die Westinghouse Co. verwendet statt zweier Spannungsspulen nur eine, dafür aber zwei Sätze Stromspulen, deren Achsen senkrecht zueinander stehen.

24. Aufbau der Meßinstrumente.

Meßinstrumente müssen mechanisch so gebaut sein, daß sie unter dem Transport nicht leiden; allerdings sollte an Schalttafeln und an in Betrieb befindlichen Instrumenten auch nicht mehr gehämmert werden. Die Instrumentenfedern, sofern solche verwendet werden, dürfen nicht rosten. Als Skalen verwendet man am besten gutes Papier. Die Ablesung sollte möglichst ohne Parallaxe erfolgen können, weshalb öfters längs der Skala unter dem Zeiger ein Spiegel angeordnet wird. Der

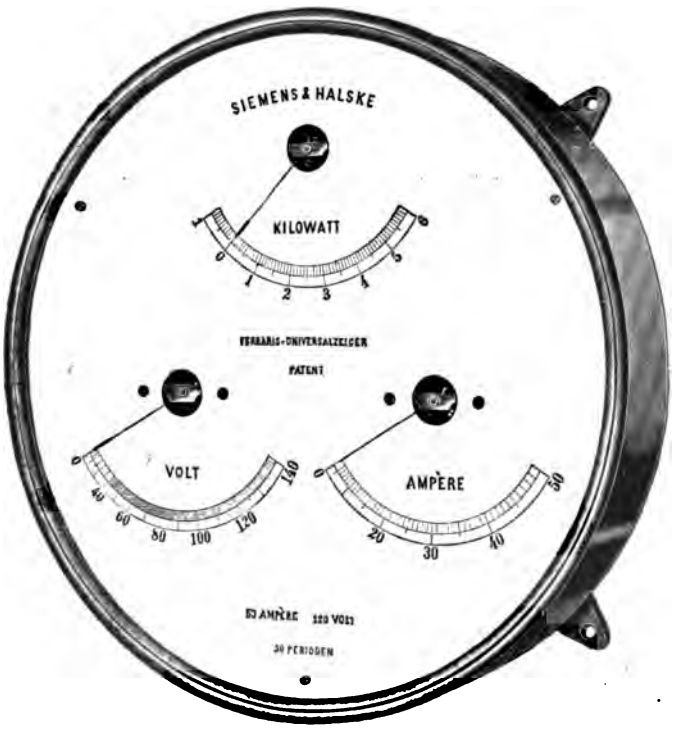


Fig. 334.

Zeiger wird häufig am Ende stark verdickt (Fig. 334 von Siemens & Halske), um deutlich sichtbar zu sein, und läuft dann in eine Spitze aus.

Digitized by Google

Die meisten Meßinstrumente hier zu Lande haben kreisrunde Form. Das Gehäuse ist zweckmäßig mattschwarz ohne Glanz (Fig. 335 der Weston Co.). Bei Hochspannung kann man nach Fig. 336 eine geerdete Metallhaube (Schuckert) über das Instrument setzen. Auch Isoliergehäuse, ebene Glasschutzkappen und zylinderförmige Glasschutzgehäuse kann man über Hochspannungsinstrumente schieben. Besonders

Fig. 335.

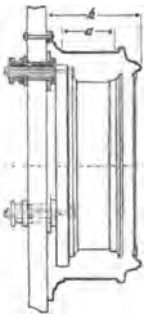


Fig. 336.

in Amerika werden vielfach horizontale oder vertikale Profilinstrumente verwendet (Fig. 337, 338 u. 332 der General Electric Co. und Fig. 339 der Weston Co.). Die Fig. 338 zeigt deutlich den Aufbau eines Weicheiseninstruments, der sogen. inclined coil type. Profilinstrumente

Fig. 337.

beanspruchen weniger Raum und lassen sich leichter übersehen als die runde Type. Die Skala nimmt in der Regel einen Winkel von 90 bis 100° ein, bei der Westinghouse Co. sogar nahezu 360° (Fig. 340). Sogen. unterdrückte Skalen (Fig. 341) gestatten in der Nähe eines bestimmten Wertes, z. B. in der Nähe der Normalspannung, die Teilung recht groß zu halten.

Die Instrumente werden auf der Vorderseite (Fig. 342) der Schalttafel oder versenkt (Fig. 343) in dieselbe montiert. Im ersten Falle

Digitized by Google

werden die Anschlußbolzen durch Porzellanbüchsen b auf die Rückseite geführt[1]). Das Instrument Fig. 342 ist nicht direkt auf Marmor, sondern

Fig. 338. General Electric Co.

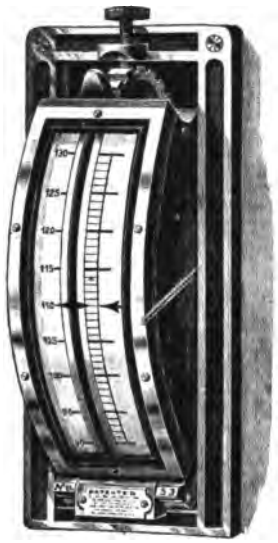


Fig. 339.

auf Messingschienen a montiert. Der Durchmesser der runden Instrumente schwankt zwischen 70 bis 700 mm, meistens jedoch zwischen 150 bis 250 mm. Zum Fixieren einer bestimmten Stromstärke oder

Fig. 340.

Fig. 341. Hartmann & Braun.

Spannung kann man einen verstellbaren roten Zeiger vorsehen. Separate Meßinstrumentenkreise sollten stets mit Sicherungen versehen werden.

[1]) Siehe auch Fig. 140a, worin die Wandstärke der Hülsen 3 bis 5 mm ist.

Digitized by Google

Für Akkumulatoren sind Strommesser zu verwenden, deren Nullpunkt in der Mitte liegt, die also beiderseits ausschlagen.

Generalvoltmeter und Voltmeter für Synchronisierinstrumente hängt man häufig an einem Wandarm auf (Fig. 341 von Hartmann & Braun).

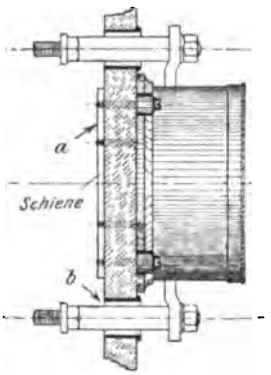


Fig. 342.

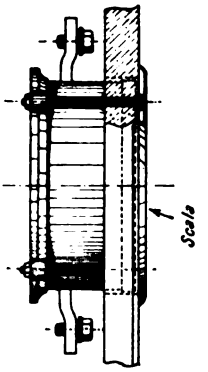


Fig. 343.

Sie haben wohl auch beiderseitig eine Skala. Auf Schiffen und Beleuchtungswagen sollten die Instrumente elastisch aufgehängt werden. Um die Skalen weithin deutlich sichtbar zu machen, werden sie häufig transparent ausgeführt und von hinten beleuchtet, siehe Fig. 344, welche

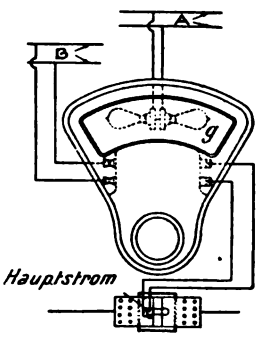


Fig. 344.

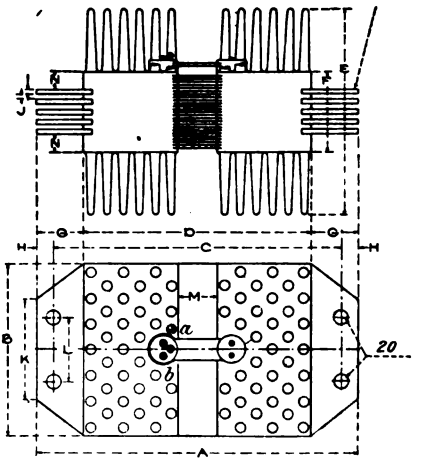


Fig. 345.

ein astatisches Amperemeter der General Electric Co. zeigt. Die Skalenbeleuchtung erfolgt durch die Glühlampen g, die man aber wegen schädlicher Erwärmung nicht in die Instrumentengehäuse einschließen soll. Auf derselben Figur ist auch die Strommessung durch einen Nebenschluß ersichtlich gemacht. Derselbe ist mit einer thermoelektrischen

Digitized by Google

Spezialvorrichtung ausgerüstet, die deutlicher noch aus Fig. 345 hervorgeht. Es werden nämlich die Instrumentenzuleitungen beide an Klemmen desselben Metallklotzes angeschlossen und zwar entspricht a dem einen Ende des Nebenschlusses und b dem anderen. Letztere ist isoliert aufgeschraubt und durch eine besondere Schiene mit der anderen Nebenschlußklemme verbunden. Der Nebenschluß hat überdies kräftige Rippen zur Abkühlung. Bei 10000 Ampere ist $M = 50$ mm, $A = 430$ mm, $B = 250$ mm. Von 20 bis 50 Ampere aufwärts werden in der Regel Nebenschlüsse verwendet, die möglichst entfernt von ihrem Instrument zu montieren sind. Die letzten sind mit bestimmten Zuleitungen ein für allemal zu eichen. Das Instrument Fig. 344 hat als Richtkraft einen von der Stromquelle B konstant erregten, hochgesättigten Elektromagneten. Außerdem ist für die Glühlampen g ein besonderer Stromkreis A vorhanden.

25. Zähler und Meßtransformatoren.

Als Gleichstromzähler[1]) kommen in Amerika fast ausschließlich Motorzähler mit Kommutator[2]) in Frage; in Europa haben auch die Pendelzähler, hauptsächlich die von Aron, große Verbreitung gefunden. Für Wechsel- und Drehstrom wird wohl allgemein der Induktionszähler[3]) in seinen mannigfaltigen Formen und Ausführungen verwendet.

Aus Fig. 346 ist der konstruktive Aufbau eines Gleichstrommotorzählers System E. Thomson, wie er von der Union E.-G. gebaut wurde, deutlich zu entnehmen[4]). Die Verbindungen sind aus den Schemen Fig. 346f bis h ersichtlich. Die mit der Spannungswicklung S versehene Achse A, die in eine feine Stahlspitze ausgeht, läuft mit maximal etwa 25 bis 60 Umdrehungen pro Minute in einer Edelsteinpfanne St (Fig. 346b) aus Saphir oder Diamant. Zur Arretierung wird mit Hilfe der Schraube ar (Fig. 346a) die Achse aus der Pfanne gehoben und gegen das obere Lager L festgepreßt. Der Kommutator H besteht aus feinen Silberstreifen, die durch zwei Schrumpfringe festgehalten werden. Die Bürsten b_1 sind sehr lang und leicht federnd ausgeführt. Die Uebersetzung auf die Zeiger des Zifferblattes geschieht durch eine Schnecke Se und ein Uhrräderwerk U. Die Aluminium- oder Kupferscheibe R rotiert zwischen den permanenten Magneten M; um ein Weiterlaufen bei Stromlosigkeit zu verhindern, trägt diese Scheibe

[1]) Ausführliches über Zähler siehe Niethammer, Praktikum S. 148 ff., sowie Niethammer, Elektrotechnische Fabriken S. 280.

[2]) Kleiner Gleichstrommotor ohne Eisen.

[3]) Kleiner Drehstrommotor mit Kurzschlußanker.

[4]) Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt veröffentlicht über die von ihr beglaubigten Zähler sehr gute Skizzen, siehe E.T.Z. 1903 ff.

Digitized by Google

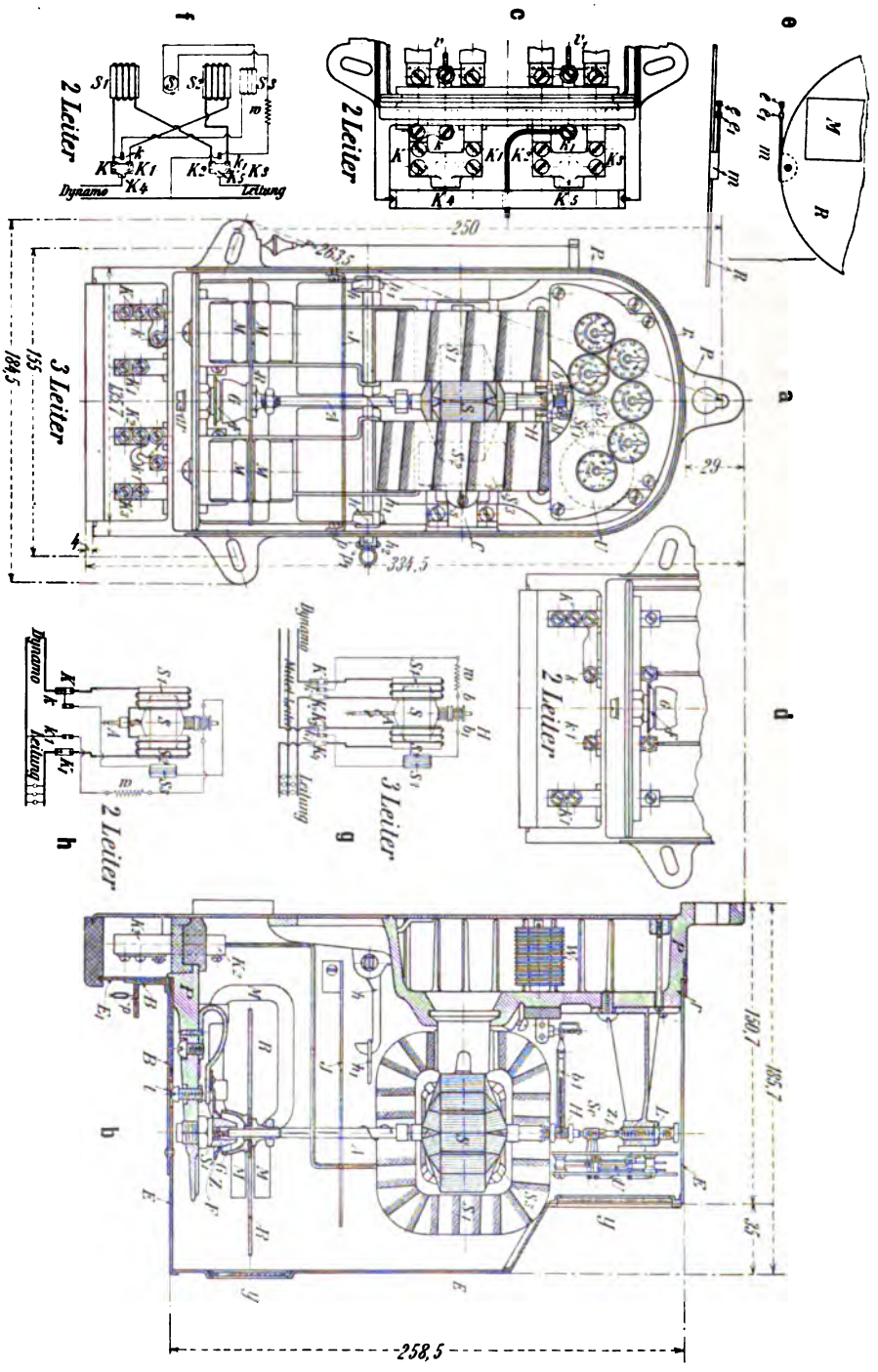


Fig. 346. Union E.-G.

Digitized by Google

(Fig. 346e) ein Eisenstückchen e, das von M festgehalten wird. Der Vorschaltwiderstand W ist in die Rückseite des Zählers eingebaut. Um die schädliche Einwirkung von Kurzschlüssen in den Hauptstromspulen S_1 auf die Magnete M zu mildern, ist zwischen beide die schirmende Blechscheibe J eingeschoben. S_3 ist eine Kompensationsspule. Vor dem Zifferblatt und der rotierenden Scheibe R ist eine Glasscheibe Y angeordnet. Zur genauen Aufhängung ist ein Lot vorgesehen.

Der Wrightsche Zähler „Elektrolyt" (F. Lux jr., Ludwigshafen) Fig. 347 mißt die Strommenge aus der Menge Quecksilber, die aus einer salpetersauren Quecksilberlösung niedergeschlagen wird. Bei 5 Amp. Hauptstrom gehen 0,025 Amp. durch die Zelle, der übrige Strom durch den Nebenschlußwiderstand R von 0,2 Ohm aus Nickelin. Das ausgeschiedene Quecksilber tropft von der Anode A aus feinem Platingeflechte nach einem Sammelrohr, in dem die Quecksilbermenge gemessen wird. Das Niveau in C wird durch den Speiseapparat D konstant erhalten. Sobald sich in dem Heberrohr eine Quecksilbermenge = 100 Einheiten gesammelt hat, fällt der Inhalt in das untere Rohr G, bei dem eine Einheit = 100 der oberen ist.

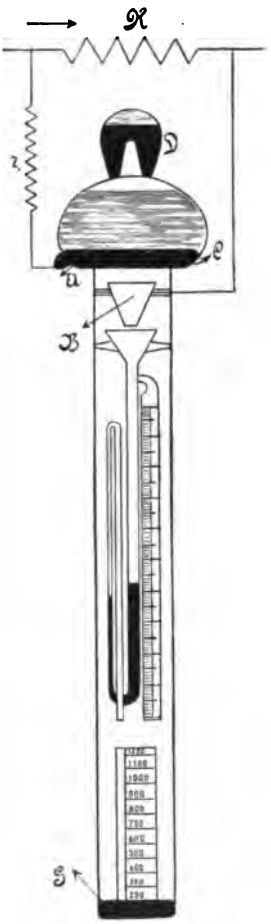


Fig. 347.

Für die Montage der Zähler gilt folgendes [1]):

Der Raum, in welchem der Zähler montiert werden soll, muß trocken sein und darf keine zu starken Temperaturänderungen aufweisen.

In Räumen, in denen Säuredampf oder viel Staub auftritt, dürfen Zähler nicht montiert werden.

Der Zähler ist an einer senkrechten, vor Erschütterungen gesicherten Wand zu befestigen. Plätze in der Nähe von vielbegangenen Türen, ebenso Frontmauern an Straßen mit starkem Fuhrwerksverkehr sind für die Aufhängung der Zähler ungeeignet.

Der Ort, an welchem der Zähler montiert werden soll, muß hell und leicht zugänglich sein und die Entfernung des Zählers vom Fußboden darf 2 m nicht überschreiten, so daß man, auf einem Stuhl stehend, den Zähler leicht ablesen und nachsehen kann.

Bei der Montage ist der Zähler vorsichtig zu behandeln und insbesondere vor Stößen zu bewahren.

Ein Lösen der Arretierung, bevor der Zähler fest an der Wand angeschraubt ist, darf unter keiner Bedingung vorgenommen werden.

Sobald der Zähler fest angeschraubt ist, muß die Arretierung auf jeden Fall

[1]) Vorschriften der E.-A.-G. vorm. Schuckert & Co.

Digitized by Google

gelöst werden, gleichgültig, ob die Einführungsdrähte angeschlossen werden können oder nicht.

Der Zähler ist, wenn möglich, nicht unmittelbar auf der Wand anzubringen, sondern am besten erst auf ein trockenes ebenes Brett zu schrauben, welches dann an der Mauer befestigt wird.

Ist der Zähler vollständig angeschlossen, so sind die Polkästen samt der gelösten Arretierung zu plombieren, siehe S. 254 Fig. 346b.

Die Zähler dürfen nicht geerdet werden, dagegen sind Schutzkappen zu erden.

Soll ein Zähler demontiert werden, so muß er zuerst arretiert werden.

Der Zähler ist bei der Demontage gerade so vorsichtig zu behandeln wie bei der Montage.

Stromführende Leitungen müssen bei 100 Amp. mindestens 30 cm, bei 1000 Amp. 70 cm und bei 4000 Amp. 120 cm entfernt verlaufen. Nebeneinander montierte Zähler müssen von Mitte zu Mitte 70 cm voneinander abstehen.

Die Meßtransformatoren werden konstruktiv in dem Kapitel Transformatoren, Band II, behandelt. Ihr Wattverbrauch soll klein sein, die Phasenverschiebung zwischen Primär- und Sekundärstrom soll möglichst genau 180° betragen, ihr Uebersetzungsverhältnis sollte sich mit der Last kaum ändern. Sie sollen unabhängig von der Periodenzahl sein. Von größter Wichtigkeit ist aber ihre zuverlässige Isolation gegen Hochspannung. Bei Spannungen über 3000 bis 5000 Volt legt man die Spannungstransformatoren meist unter Oel, was bei Stromtransformatoren wohl erst bei 10000 Volt und darüber erforderlich ist. Der Spannungstransformator Fig. 348 ist für 22000 Volt und 10 bis 50 Watt, was in der Regel für Meßinstrumente ausreicht, gebaut. Auf hohen Ebonitsäulen sitzen zwei Hochspannungssicherungen, getrennt durch Schutzwände. Die Stromtransformatoren, die sekundär meist für 10 oder 25 Ampere gewickelt werden, müssen einen Magnetkreis von möglichst geringem Widerstand haben, auch der elektrische Widerstand der Sekundärwicklung soll klein sein. Ueber 2000 Ampere ist höchstens eine primäre Windung zu benützen (Fig. 349). Die Niederspannungskreise sind mit Sicherungen zu versehen. Die Eichung hat mit ganz bestimmten Meßleitungen zu erfolgen. Um den Einfluß benachbarter Ströme auf die Stromtransformatoren zu vermeiden, verwenden Siemens & Halske die Ausführung Fig. 350. Die Stromschiene a ist aufgebogen und mit Ausschnitten d versehen, darüber ist der Eisenkern ce gezogen, auf dem die Sekundärwicklung b liegt.

Bei Wattmetern ist es besonders wichtig, daß Strom und Spannung im Sekundärkreis der Transformatoren nach Größe und Phase stets den Primärgrößen entsprechen. Siemens & Halske erreichen dies durch einen induktionsfreien Justierwiderstand r (Fig. 351).

In keiner Schalttafel sollten Einrichtungen zur Bestimmung des Isolationswiderstandes und von Erdschlüssen fehlen, sogen. Erdschlußprüfer, wozu jedes Voltmeter benützt werden kann, wenn man es ent-

Digitized by Google

sprechend der Gebrauchsspannung in Ohm eicht. Für Drehstrom sind nach Fig. 352 drei Instrumente erforderlich, die aber den Isolations-

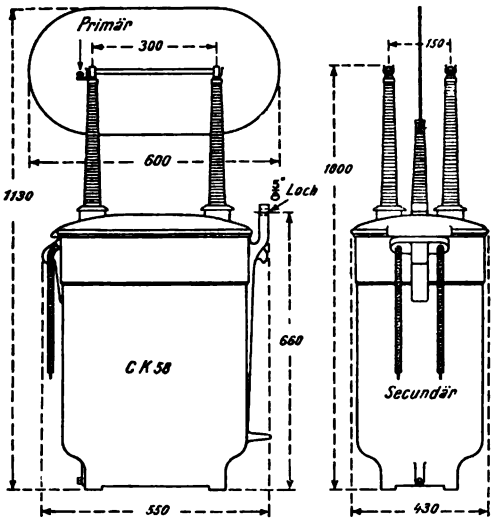


Fig. 348.

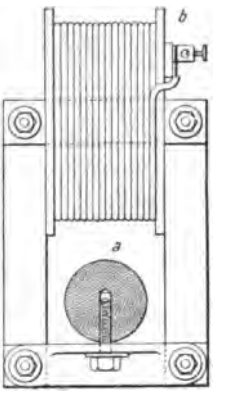


Fig. 349.

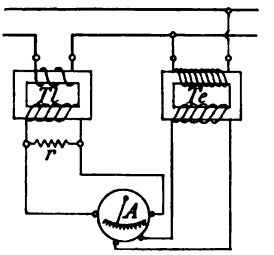


Fig. 351.

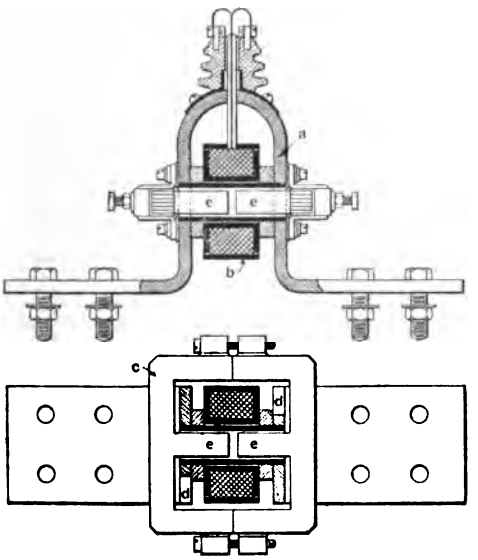


Fig. 350.

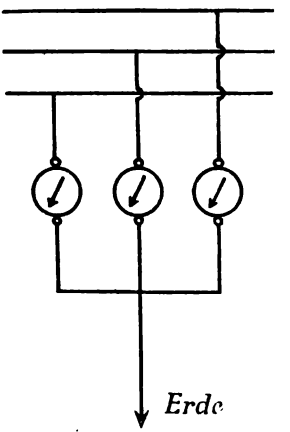


Fig. 352.

widerstand nicht direkt anzeigen. Sind alle drei Leitungen fehlerfrei, so zeigen die 3 Voltmeter je die Sternspannung; hat eine Leitung Erd-

Digitized by Google

schluß, so zeigen die beiden Nachbarvoltmeter annähernd die verkettete Spannung, während das zugehörige Voltmeter zurückgeht[1]).

26. Synchronisierapparate. Polaritätszeiger.

Die Einrichtungen zum Synchronisieren[2]) parallel zu schaltender Maschinen können bereits den früheren Schemen Tafel II bis V entnommen werden. Man hat zunächst nach Fig. 353 die Spannung des zuzuschaltenden Generators G_2 mit Hilfe des Voltmeters V_1 ungefähr auf die gleiche Höhe zu bringen, wie an den Sammelschienen HS gemäß dem Voltmeter V_2. Zum Beobachten der Phasenübereinstimmung

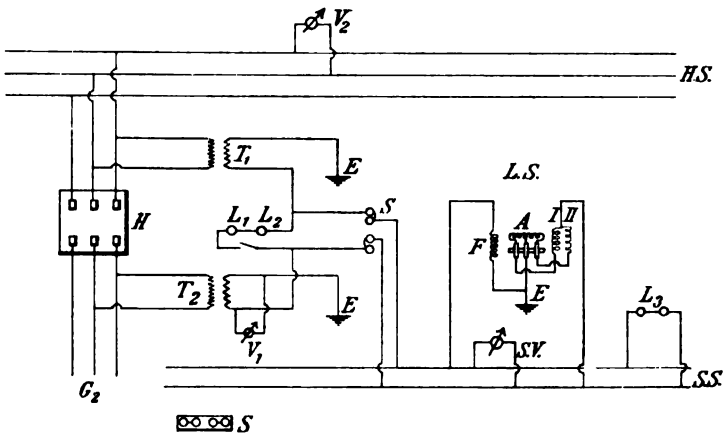


Fig. 353.

des Generators G_2 mit der der Sammelschienen HS kann man sich zweier Vorrichtungen bedienen, nämlich der Lampen L_1 L_2 und des Voltmeters SV. Beide werden durch die Summe oder Differenz der Spannungen von G_2 und HS über geeignete Transformatoren T_1 und T_2 gespeist[3]). Sind also die Periodenzahlen beider annähernd gleich, so

[1]) Siehe auch E.T.Z. 1901, Heft 8, Fig. 7: Man erdet den Verkettungspunkt eines primär in Stern geschalteten, am Netze liegenden Transformators, die Sekundärwicklung hat Dreieckschaltung; in das Dreieck schaltet man ein Voltmeter, das die Größe des Erdschlusses angibt, parallel zu jeder Dreieckseite liegt eine Glühlampe, deren Aufleuchten die fehlerhafte Phase anzeigt.

[2]) Das Synchronisieren selbst wird in Band II besprochen, wo sich noch weitere Schemen und Abbildungen von Synchronisierapparaten finden. Siehe auch Niethammer, Handbuch der Elektrot., Bd. IV, S. 185 ff.

[3]) Die Meßschaltung für Hochspannungsanlagen D. R.-P. 106157 von Schüler benützt für die Meßinstrumente eine ganz von der Hauptmaschinenwicklung getrennte besondere Wicklung, siehe E.T.Z. 1899, Heft 50 und Niethammer, Handb. der Elektrot. Bd. IV, S. 72.

Digitized by Google

werden die Lampen periodisch aufleuchten und dunkel werden und das Voltmeter SV wird periodisch zwischen o und doppelter Netzspannung hin und her schwingen. Je nach der Schaltung sind die beiden Maschinenaggregate in Phase, wenn die Lampen am hellsten oder am dunkelsten sind, ersteres ist vorzuziehen. Ebenso ist entweder der Maximal- oder der Minimalausschlag am Voltmeter ein Zeichen für die Phasengleichheit. Bevor man indes auf Phasengleichheit einstellen kann, hat man auf Periodengleichheit einzuregulieren, d. h. es ist von Interesse zu erfahren, welche der Maschinen zu schnell und welche zu langsam läuft. Dazu kann man sich des Apparates LS Fig. 353 bedienen. Es ist dies ein kleiner Motor, dessen Feld F an den Sammelschienen HS und dessen Anker an den Klemmen von G_2 liegt, beides über einen Reduktionstransformator T_1 und T_2. Der Anker rotiert mit einer Geschwindigkeit, die der Differenz der Periodenzahlen im Feld und Anker entspricht. Der Drehsinn hängt davon ab, ob das Feld oder der Anker die höhere Periodenzahl bekommt. Man hat also die Regulatoren als Antriebsmotoren solange zu verstellen, bis der Anker von LS, der mit einem Zeiger versehen ist, stillsteht[1]). Diese Verstellung der Maschinenregulatoren geschieht zweckmäßig vom Schaltbrett aus durch Umsteuern eines kleinen Elektromotors, der das Laufgewicht des Regulators nach Fig. 354 verstellt.

Die zwei Phasenlampen L_3 Fig. 353 sind in der Nähe des Maschinenregulators montiert. Es ist wünschenswert, daß der Dampfmaschinenwärter auch den Periodenvergleicher (LS) deutlich sieht, sofern nicht nach Fig. 354 vom Schaltbrett aus gesteuert wird. Die zwei Spulen I und II in Fig. 353 bestehen aus Ohmschem Widerstand und Drosselspulen und dienen zur Ermöglichung des Anlaufs des Einphasenmotors FA.

Die Siemens-Schuckert-Werke benützen zum Periodenvergleich die Schaltung Fig. 355 von Michalke. Dabei schaltet man zwischen die drei Sammelschienen a, b, c und die drei mit d, e, f verbundenen Klemmen des zuzuschaltenden Generators verkreuzt[2]) drei Glühlampen E. Diese leuchten bei verschiedener Periodenzahl in den zwei aufeinander geschalteten Aggregaten nacheinander periodisch auf, d. h. man bekommt den Eindruck, daß das Licht in dem Kasten E in einem bestimmten Drehsinne kreist, und zwar wechselt der Drehsinn, je nachdem die Periodenzahl der einen oder der anderen Maschine größer ist. An die Klemmen m_1, n_1, o_1, m_2, n_2, o_2 . . . werden der Reihe nach die verschiedenen vorhandenen Generatoren angeschlossen. In dem Schema

[1]) In Fig. 353 ist S ein Stöpseleinschalter und E = Erde; H ist der Hauptschalter. Der in Fig. 353 abgebildete Synchronisierapparat LS von Lincoln ist in D. R.-P. 141570 ausführlich beschrieben.

[2]) D. h. es werden nicht Klemmen gleicher Phase verbunden.

Digitized by Google

Fig. 355 ist außerdem ein Phasenzeiger A und ein Spannungszeiger C eingezeichnet. Die Lampe B dient ebenfalls als Phasenlampe.

Auf der Vorderseite des Apparates LS Fig. 353 und E Fig. 355 ist je eine Aufschrift „Zu langsam", „Zu schnell" mit dem zugehörigen Pfeil aufgebracht, d. h. wenn der Zeiger oder die Lampen in einer Richtung kreisen, läuft die zuzuschaltende Maschine zu langsam, bei umgekehrtem Drehsinn zu schnell.

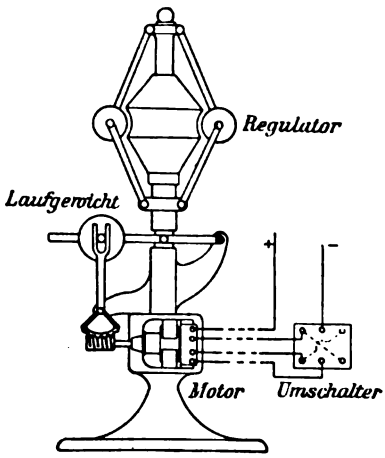


Fig. 354.

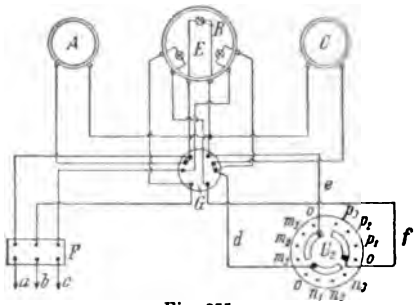


Fig. 355.

Fig. 356.

Fig. 357.

Die A. E.-G. ersetzt die Glühlampen der Fig. 355 durch drei ebenso geschaltete Elektromagnete, die wie in Fig. 318 eine Aluminiumscheibe in entsprechende Rotation versetzen (Fig. 356).

Hat man Motorgeneratoren parallel zu schalten, die primär und sekundär Wechselströme verschiedener Frequenz führen, so hat man erst parallel zu schalten, wenn beide Seiten synchronisiert sind (siehe Band II, Umformer).

Die Firma Lahmeyer-Frankfurt ersetzt die Vorrichtung Fig. 354 durch eine andere, die im österreichischen Patent Nr. 18138 angegeben ist.

Digitized by Google

Die Verstellung des Regulatorgewichts erfolgt direkt von der Dampfmaschinenwelle, und zwar durch Einrückung einer Wendekuppelung durch ein Doppelrelais.

In Gleichstromanlagen, die z. B. Bogenlampen und elektrolytische Apparate enthalten, ist es unerläßlich, daß das Netz dauernd gleiche Pole beibehält. Für solche Fälle kann ein Polaritätszeiger erwünscht sein, der z. B. von der General Electric Co. nach Fig. 357 ausgeführt wird. Ist die Polarität richtig, so liegen beide Lampen, die rote und weiße, in Serie und sind fast ganz dunkel. Schlägt die Polarität um, so schließt das Relais die weiße Lampe kurz und die rote leuchtet hell auf. Das Relais kann überdies eine Klingel betätigen.

27. Registrierende Instrumente. Mittlere Netzspannung.

Von nicht zu unterschätzendem Wert für die dauernde Kontrolle der Schalttafeln sind registrierende Instrumente, und zwar sind sie am wünschenswertesten für die Sammelschienenspannung und die Stromstärke oder den Wattverbrauch der einzelnen Hauptspeiser. Selbst wenn diese Instrumente auch nicht ganz präzis zeigen, so geben sie doch dem Betriebsleiter Aufschluß über die wichtigsten Vorkommnisse in der Zentrale und im Netz, besonders auch über Kurzschlüsse. Mit Federschreibvorrichtung werden registrierende Instrumente geliefert von Hartmann & Braun, Eliott Bros, London und Olivetti, Ivrea (Italien); Siemens & Halske liefern Apparate mit absatzweiser Registrierung für langsame Aenderungen und solche mit Funkenregistrierung für schnellverlaufende Vorgänge.

Um mit Hilfe eines Generalvoltmeters die Spannungen sämtlicher Generatoren und Speiser ermitteln zu können, schließt man die Prüfdrähte sämtlich an einen Voltmeterumschalter an, dessen Schienen am Voltmeter liegen (Fig. 109b). Sämtliche Zuleitungen zu dem Umschalter müssen dann auf genau gleichen Widerstand abgeglichen werden, und zwar ist dies der größte vorkommende Widerstand, d. h. gewöhnlich für den weitest abliegenden Speisepunkt. Häufig fügt man dem Voltmeterumschalter noch einen Kontakt ein, auf dem die mittlere Netzspannung gemessen wird. Dabei werden sämtliche Prüfdrähte aller Speisepunkte parallel an das Voltmeter gelegt. Da dann der Widerstand der Zuleitungen, der durchweg einzeln gleich w ist, auf $\frac{w}{m}$ sinkt, wenn m Speiser vorhanden sind, so ist in diesem Falle vor das

Digitized by Google

Voltmeter noch ein Widerstand $w\left(1-\frac{1}{m}\right)$ zu schalten. Dieser Widerstand wird an den Umschalter montiert[1]).

Gelegentlich der Besprechung der Relais ist schon erwähnt, daß alle Meßinstrumente auch als Relais ausgebildet werden können. Der Kern eines Weicheiseninstrumentes (eines sogen. Kontaktvoltmeters) betätigt z. B. einen Arm, welcher bei 107 Volt eine rote, bei 113 Volt aber eine grüne Lampe einschaltet. Gleichzeitig kann eine Klingel ertönen. Derartige Einrichtungen sind besonders auch für die Beobachtung der Netzperiodenzahl von Wichtigkeit. Die Kontaktvoltmeter können auch die Betätigung von Schaltern und Widerständen einleiten; sie müssen vor allem dauernd funkenfreie Kontakte besitzen.

[1]) Siehe auch Z. f. E., Wien. 19. April 1903, Spannungsregulierung in Mehrleiteranlagen von Dr. Hiecke, wo auch ein kräftiges registrierendes Voltmeter beschrieben ist; ferner Teichmüller, E.T.Z. 1899, S. 245.

Digitized by Google

VI. Schutzvorrichtungen gegen Blitz und Ueberspannungen[1].

Diese Apparate lassen sich einteilen in solche, welche Apparate, Leitungen und Maschinen vor den Einwirkungen des Blitzes und atmosphärischer Entladungen schützen, und in solche, welche Ueberspannungen ausgleichen, die durch Resonanz oder beim plötzlichen Ein- und Ausschalten von Leitungen und Transformatoren entstehen, und schließlich in solche, welche den Uebertritt von Hochspannung in Niederspannungskreise verhindern oder unschädlich machen.

28. Blitzschutz.

Die Blitzschutzvorrichtungen haben einmal die atmosphärischen Entladungen zur Erde abzuleiten, ferner haben sie diese Entladungen möglichst vollständig von den Maschinen und Apparaten fernzuhalten und schließlich müssen sie verhindern, daß die Leitungen und Generatoren über Erde kurz geschlossen werden. Weiter ist zu verlangen, daß eine Blitzschutzvorrichtung nach einmaligem Funktionieren nicht zerstört wird, sondern wieder benützt werden kann. Die zweite Forderung bedingt, daß die bei den Entladeerscheinungen auftretenden Funken und Lichtbögen rasch gelöscht werden, was durch Hörner (siehe Schalter), durch eine Unterteilung des Lichtbogens in viele kurze Bögen, die leicht abreißen, und durch Blasmagnete geschieht. Bei den Rollenblitzableitern wirken auch die großen Metallmassen und die entstehenden Oxyde funkenerstickend. Die eigentliche Blitzschutzvorrichtung wird in der Regel zwischen die zu schützenden Leitungen und Erde geschaltet, während vor die zu schützenden Apparate eine Drosselspule B Fig. 358

[1] Der Schutz der Leitungen wird in Band IV besprochen.

Digitized by Google

gelegt wird. Gegen direkte Blitzschläge gibt es kaum einen Schutz. Man kann folgende Blitzableiter unterscheiden:

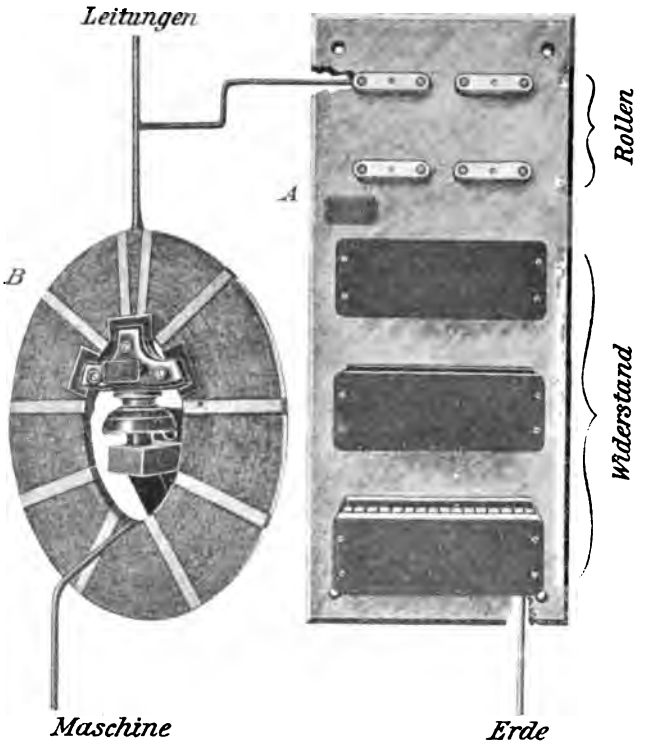


Fig. 358. Westinghouse Co.

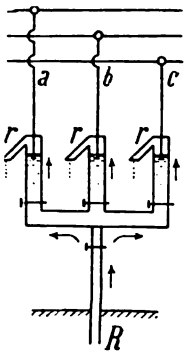


Fig. 359.

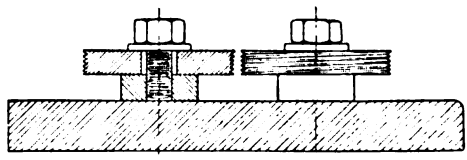


Fig. 360.

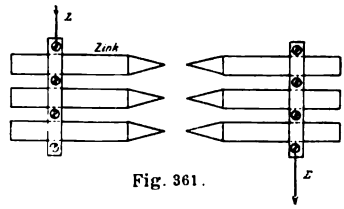


Fig. 361.

1. Bloße Widerstände zwischen Linie und Erde, z. B. Wasserwiderstände, Graphit- bezw. Kohlenwiderstände (Fig. 359).

2. Spitzenblitzableiter (Fig. 360 bis 361a).

Digitized by Google

3. Plattenblitzableiter (Fig. 362).
4. Rollenblitzableiter (Fig. 363 u. 358).

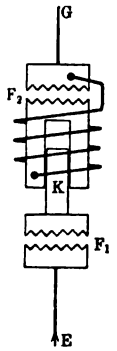


Fig. 361a.

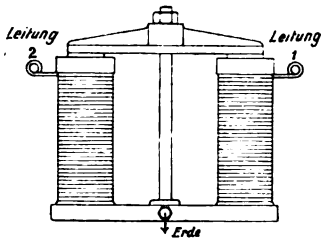


Fig. 362.

Fig. 363. Union E.-G.

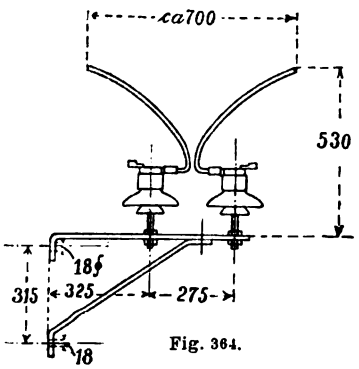


Fig. 364.

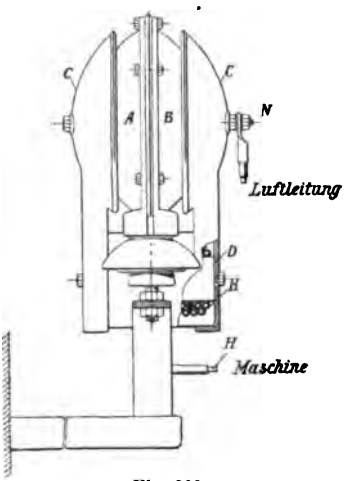


Fig. 366.

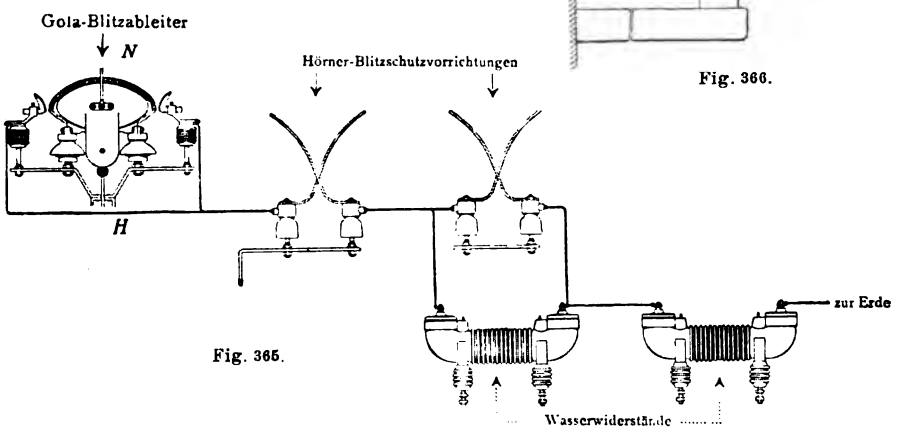


Fig. 365.

5. Hörnerblitzableiter (Fig. 364).
6. Serienblitzableiter (Fig. 365 u. 366).
7. Kondensatoren.

Digitized by Google

Fig. 367. Wasserwiderstand der Maschinenfabrik Oerlikon.

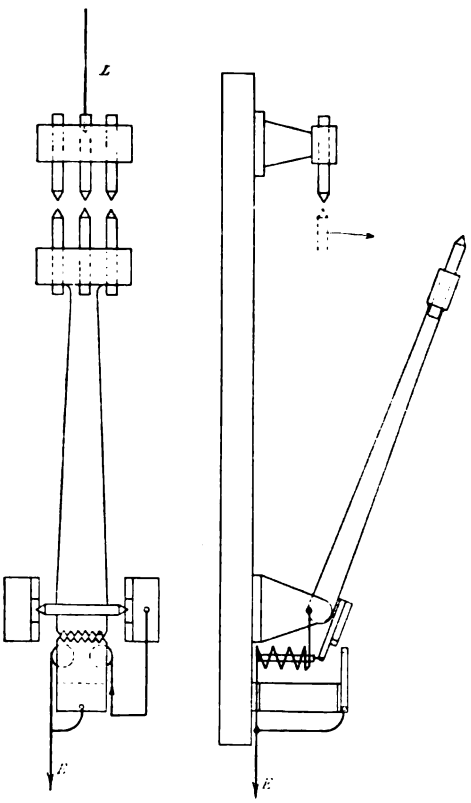


Fig. 368.

Fig. 369. Westinghouse Co.

Digitized by Google

Es ist fast allgemein üblich, daß man zur Vermeidung eines Kurzschlusses der Maschinen in die Erdleitung der verschiedenen Blitzableiter Graphit- oder Wasserwiderstände legt: Fig. 363 u. 367. Der Wasserwiderstand Bl Fig. 50 ist derart eingerichtet, daß aus einem geerdeten Wasserrohr auf jeden Leitungsdraht ein Wasserstrahl geschickt wird. Bei 10000 Volt stehen die Spritzrohre 800 bis 1000 mm voneinander ab. Die Länge des Strahls ist etwa 20 cm, der Rohrdurchmesser hängt vom Druck ab, er ist etwa 10 bis 20 mm. Der dauernde Stromverlust beträgt nach Messungen an Anlagen mit 10000 bis 20000 Volt etwa 0,1 Amp. pro Phase. Die Raumbeanspruchung ist $2{,}8 \times 0{,}6 \times 1{,}2$ m (Länge, Breite und Höhe) für 10000 Volt.

Die Blitzschutzvorrichtung von Thury (Fig. 368) besteht aus einem drehbaren Arm, an dessen oberem Ende Kohlenspitzen und an dessen

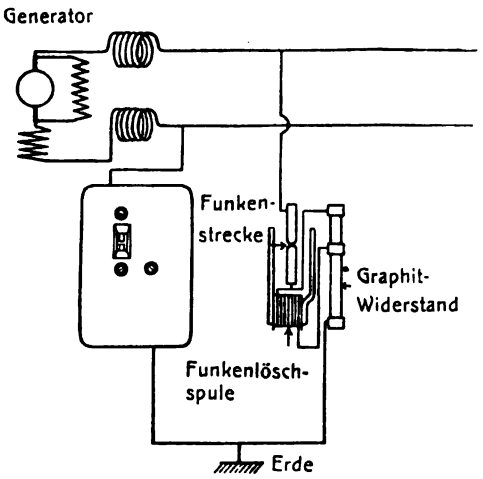


Fig. 370.

unterem Ende Metallspitzen angebracht sind. Sobald durch die Vorrichtung ein Erdstrom geht, zieht der Elektromagnet den Arm an, so daß ein großer Lichtbogen entsteht, der schließlich abreißt. Auch der Blitzableiter Fig. 361a der A. E.-G. hat einen Elektromagneten, der die Spitzen auseinander reißt. In neueren Anlagen verwendet Thury nach Fig. 102 eine Kombination von Röhren, die eine Pulvermasse enthalten, mit Spitzenfunkenstrecken.

Die Westinghouse Co. benützt für Gleichspannungen bis 700 Volt die Vorrichtung Fig. 369, die einfach in einem Erdwiderstand besteht, der durch die oberflächlich verkohlten Rinnen eines Lignum vitae-Holzes gebildet wird. Darüber liegt ein glatter Block aus gleichem Holz als Deckel.

Die Spitzenblitzableiter bestehen entweder aus Messingplatten, deren

Digitized by Google

Ränder mit Spitzen versehen sind, oder aus einem doppelten Satz sich gegenüberstehender, zugespitzter Kohlen- oder Zinkstifte. Der Spitzenblitzableiter Fig. 370 der Union E.-G. hat nur eine Funkenstrecke mit Funkenlöschung. Die Löschspule liegt parallel zu einem Teil des Graphitwiderstandes. Löschspulen sollten nie direkt in der Erdleitung liegen, nur in Parallelschaltung mit einer anderen Erdleitung oder mit einem Widerstand oder einer Funkenstrecke.

Der Hörnerblitzableiter[1]) Fig. 364 erhält für 1000 bis 3000 Volt einen geringsten Luftabstand von 3 mm, für jedes weitere 1000 Volt 1 mm mehr. Im Freien ist der geringste Luftabstand 10 mm. Die gegen Berührung zu schützende Erdleitung ist bei allen Blitzableitern mit einem Minimum von Biegungen aus unmagnetischem Material, z. B. aus kräftigem Kupferkabel von 50 qmm herzustellen; die Erdplatten sollen aus 3 mm starkem verzinkten Eisenblech bestehen, 1,5 m breit, 1 m hoch und mit 1,5 m langem Zuleitungsstreifen.

Hin und wieder wird in die Erdleitung außer dem Wasserwiderstand auch eine Sicherung und ein Trennschalter gelegt; von der Sicherung ist jedoch abzuraten, da sie während eines Gewitters nicht ersetzt

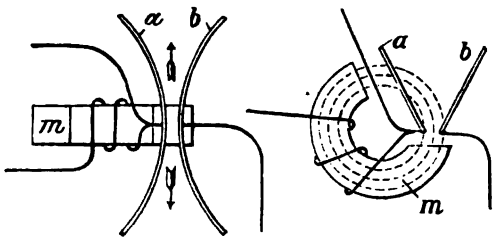


Fig. 371.

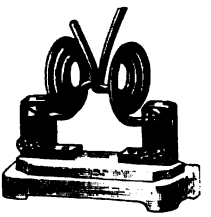


Fig. 372.

werden kann. Der Hörnerblitzableiter von Lahmeyer-Frankfurt ist bereits in Fig. 39 abgebildet. Die A. E.-G. (D. R.-P. 119667) versieht den Hörnerblitzableiter noch mit einer magnetischen Blasvorrichtung (Fig. 371), und Klein (E.T.Z. 1901 S. 1045) gibt den Hörnern eine Eisenarmierung. Kolben & Co. stellen die Hörner aus Zinkguß her und versehen sie an der engsten Stelle mit einer Reihe Spitzen oder Zähne (siehe auch „Anhang").

Die Ausführung des Hörnerblitzableiters der Firma Schuckert für Gleichspannungen unter 1000 Volt (Fig. 372) hat eine einfache Funkenlöschung.

Ein Rollen- oder Walzenblitzableiter der General Electric Co. für 10000 Volt ist in einer Ausführung der österreichischen Union für die Sillwerke (11000 Volt) auf Fig. 373 abgebildet. Es sind immer

[1]) Der Hörnerblitzableiter wurde zuerst von E. Thomson gebaut.

Digitized by Google

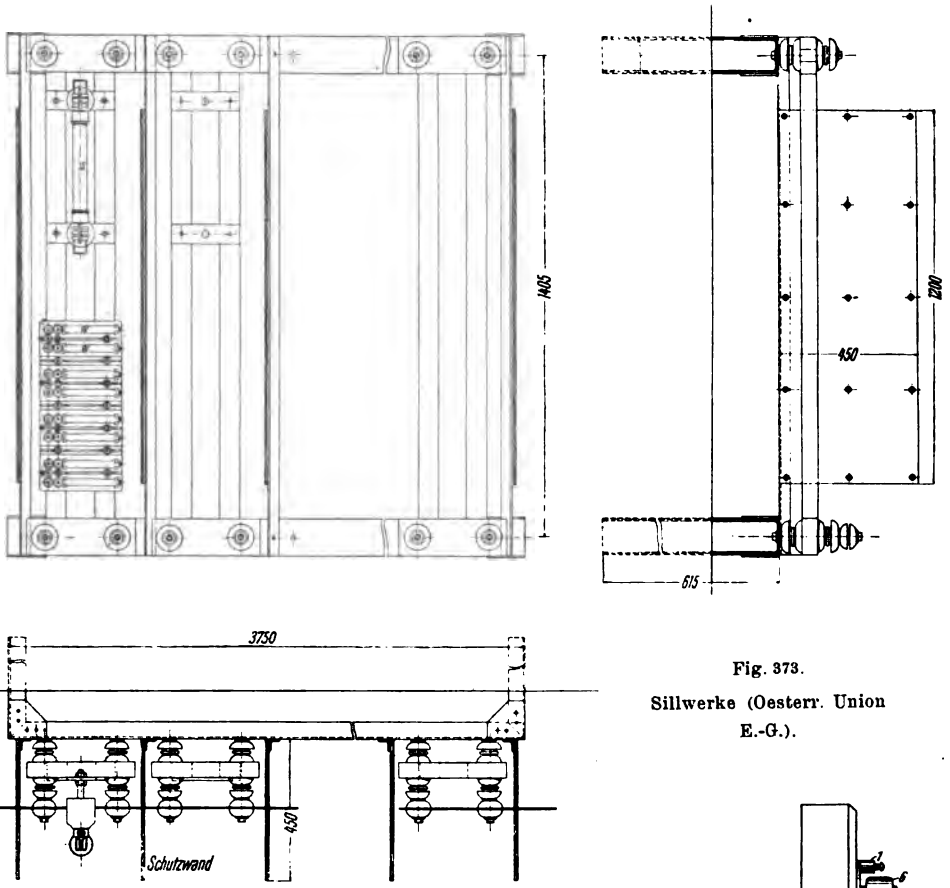


Fig. 373.
Sillwerke (Oesterr. Union E.-G.).

6 Rollen r aus Messing oder irgend einer anderen zinkhaltigen Legierung mit Luftabständen von 0,8 bis 1,5 mm, sowie zwei Graphitwiderstände w zu einem Element vereinigt. Die Marmorplatte, auf der die Blitzableiter sitzen, ist auf hohen Isolatoren montiert. Jede Erdleitung kann durch einen Trennschalter s, der als Sicherung ausgebildet ist, abgetrennt werden. Bei 25000 Volt werden zwei getrennte Gruppen mit je 6 Elementen zu 6 Rollen verwendet. Nach dem E. P. 7461 vom Jahre 1903 schaltet neuerdings die General Electric Co. zwischen je zwei Rollengruppen eine Reihe Metallplatten, die durch Widerstandsplatten 2 aus Kohle (Fig. 374) überbrückt sind.

Die General Electric Co. rechnet pro 300 bis 500 Volt eine Rollenfunkenstrecke von 1 bis 1,5 mm und pro 500 Volt 80 Ω Widerstand, die Westinghouse Co. dagegen für 150 bis 200 Volt schon 1 mm Funkenstrecke.

Fig. 374.

Digitized by Google

In der Niagaraübertragung ist der Rollenblitzableiter Fig. 375 [1]) für 22000 Volt Betriebsspannung verwendet. D sind Drosselspulen, S eine Silberdrahtsicherung, dann folgt eine größere Funkenstrecke F, dann 6 × 10 Funkenstrecken F zu 0,8 mm zwischen Metallzylindern aus funkenerstickendem Material. Zu den 8 × 8 Rollen B mit 0,8 mm gegenseitigem Abstand liegt der Widerstand W parallel mit 380 Ohm. Schließlich folgt noch ein Widerstand w von 280 Ohm, der an Erde liegt. Die 6 Drosselspulen haben je 17 Windungen. Häufig bestehen dieselben aus einer etwa 300 mm langen Spirale von 100 mm Außendurchmesser und 10 mm Drahtdurchmesser. Die Westinghouse Co. verwendet dagegen gemäß Fig. 358 Drosselspulen aus Flachband. Die Außendimensionen einer solchen elliptischen Spule sind bei 18000 Volt und 260 Amp. 1100 × 800 mm; bei 3000 Volt kaum 1/5 davon. Eine Drosselwirkung erzielt man in einfacher Weise, wenn man das betreffende Leitungsstück mit Eisenband umwickelt.

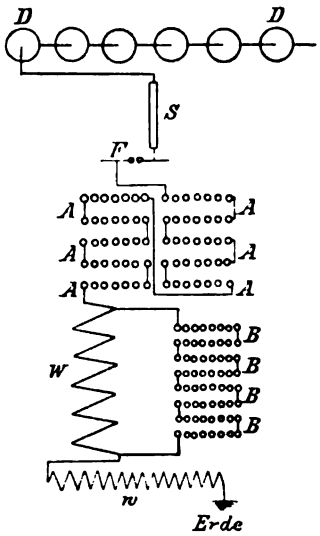


Fig. 375.

Die in Fig. 375 eingezeichnete große Funkenstrecke F ist deswegen erforderlich, weil sonst an den ersten Sätzen der Rollen A leicht heftige Ladeerscheinungen nach Erde auftreten. F kann z. B. ein Hörnerblitzableiter sein.

Die Firma Brown, Boveri & Co.-Baden kombiniert [2]) nach Fig. 376 a bis d (Schweizer Patent 27589) den Hörnerblitzableiter 4 mit Walzenfunkenstrecken 2 und einer Drosselspule 1 sowie mit induktionsfreien Widerständen 3 in der Schaltung Fig. 376d. Die Induktionsspule 1 bläst überdies den entstehenden Lichtbogen an den Hörnern aus. Die Hörner sitzen in der Mitte zwischen Rollen und Widerständen. Partridge hat ebenfalls bereits früher Hörner mit Kugelfunkenstrecken kombiniert.

In D. R.-P. 142510 hat Schuckert die Funkenstrecken mit den Wasserwiderständen in sehr sinnreicher Weise vereinigt (Fig. 377); das Wasser ist in Tongefässen untergebracht, deren feuchte Oberfläche als stromleitende Rolle benützt wird.

Der Serienblitzableiter System Gola (Fig. 365 u. 366 für 30000 Volt) wird von der A. E.-G. gebaut. Die zu schützende Leitung

[1]) Siehe Thomas, Trans. Am. Inst. El. Eng. 1902.

[2]) Eine Kombination von Hörnern mit Walzen rührt von Schoen & Felix her (Z. f. E. Wien 1903, S. 189).

Digitized by Google

wird in H und N (Fig. 366) angeschlossen. Die Kappen C sind die Pole eines Elektromagneten, der vom Hauptstrom (Leitungsstrom) erregt wird. Die Kalotten A und B zwischen diesen Polen sind an die Spule H

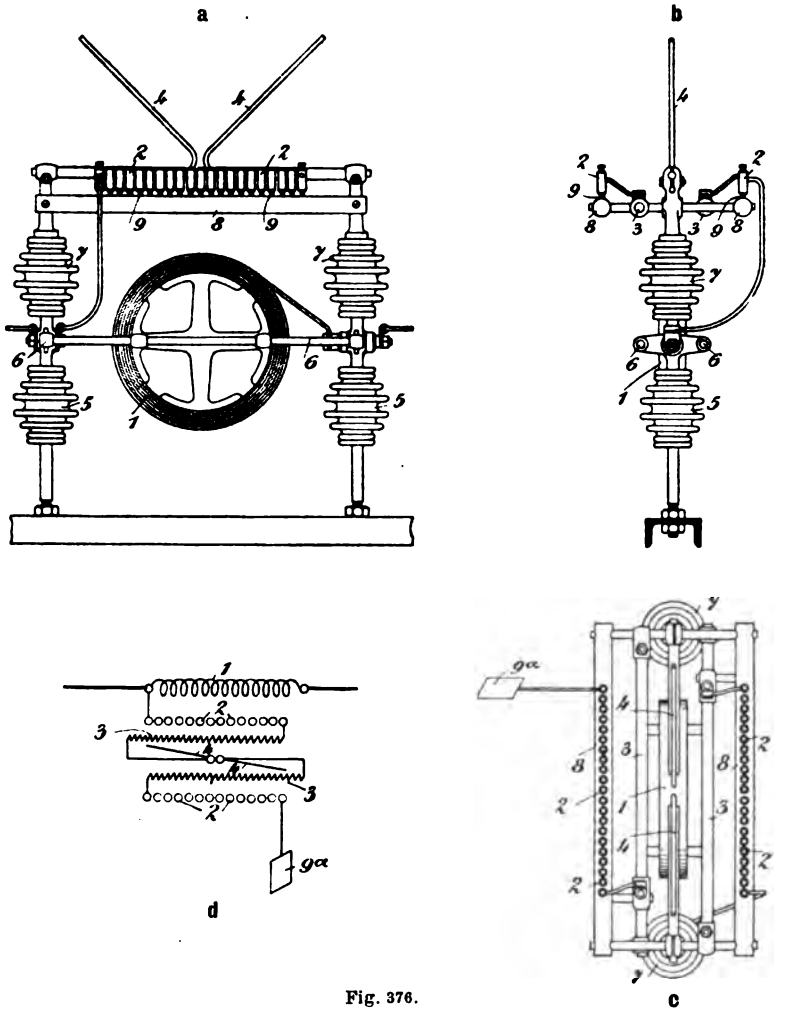


Fig. 376.

angeschlossen. Diese eigenartige elliptische Form erleichtert einerseits die Entladungen zur Erde, anderseits erhöht sie die Impedanz der Drosselspule. Der Apparat heißt Serienableiter, weil der eine Teil C der Funkenstrecke zwischen Leitung und zu schützende Maschine, nicht neben die Leitung geschaltet ist.

Der Plattenblitzableiter von Siemens & Halske (Fig. 378), D. R.-P. 138352, hat an den Rändern größere Luftabstände als in den eigentlichen Funkenstrecken, um ein Ueberbrücken der Ränder durch

Digitized by Google

den Lichtbogen zu vermeiden. Der Plattenblitzableiter Fig. 362 besteht abwechselnd aus Zink- und Glimmerplatten. Häufig wird über das Ganze eine Porzellanglocke gestülpt.

Betriebssicher gebaute Kondensatoren, die zwischen jede Leitung und Erde gelegt werden, sind ein sehr zweckmäßiger Schutz gegen Blitz und Ueberspannungen; Versuche der Zentrale Haute Rive (Schweiz) haben in dieser Hinsicht sehr gute Resultate ergeben. Bei 8000 Volt 50 Per. war die Kapazität $^1/_{30}$ bis $^1/_{60}$ Mi; die Kondensatoren haben Glasröhren als Dielektrikum mit Stanniolbelag (Schweiz. Kondensatorenfabrik von Modzelewski, Fribourg, Schweiz).

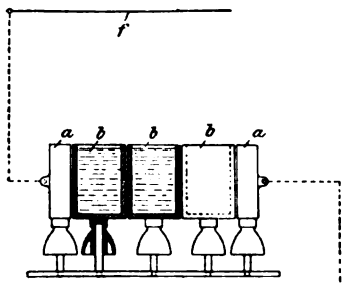


Fig. 377.

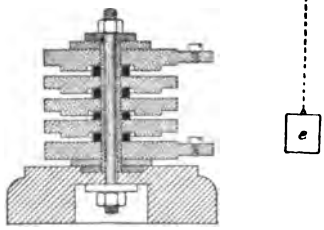


Fig. 378.

Eine für den Betrieb nicht unwesentliche Eigenschaft der Blitzableiter ist die, ob sie mit ununterbrochener oder mit unterbrochener Erdung arbeiten. Der erste Fall trifft für die als Blitzableiter benützten Wasserwiderstände, der zweite für die üblichen Funkenstrecken zu. Im ersten Fall ist durch die Schutzvorrichtung kein unzulässiger Kurzschluß möglich, aber sie bedingt einen dauernden, wenn auch kleinen Stromverlust. Ueberdies sind bei anderweitigen Erdschlüssen Telephonstörungen zu erwarten; auch herrscht stets zwischen Erde und jedem Draht bei Drehstrom eine Spannung = 70 % der Netzspannung. Bei gut isolierten Leitungen und unterbrochener Erdung ist letzteres nicht der Fall.

Blitzschutzvorrichtungen sollten so beschaffen sein, daß sie bei Spannungserhöhungen von 50 % gegen die Normalspannung eine Entladung zur Erde herbeiführen. Sind dann alle Maschinen und Apparate im Netz so gebaut, daß sie vorübergehend ohne Schaden diese 50 % Ueberspannung ertragen, so dürften Durchschläge durch Blitzentladungen selten vorkommen. Blitzableiter sind möglichst nicht im Freien zu montieren. Rollenblitzableiter lassen sich noch am ehesten in einen Gußkasten für Aufstellung im Freien einrichten. Von Vorteil zur Vermeidung von Blitzschlägen in die Maschinen ist es, die Eisengestelle derselben gut von Erde zu isolieren.

Ob die Verwendung einer Funkenstrecke oder von vielen in Serie geschalteten am zweckmäßigsten ist, dürfte nicht einwandfrei erwiesen sein; Tatsache ist, daß es vorteilhaft ist, nicht zu viele Funken-

Digitized by Google

strecken in Serie zu schalten und die erste Funkenstrecke groß zu machen. (Siehe auch unter „Zusätze".)

29. Ueberspannungssicherungen.

Die Schutzvorrichtungen gegen schädliche Ueberspannungen zeigen in der Regel dieselbe Ausführung wie Blitzschutzvorrichtungen, man kann beide auch ohne weiteres miteinander kombinieren. Meist sind indes die Funkenstrecken für Ueberspannungen etwas empfindlicher eingestellt als bei Blitzschutz. Solche Ueberspannungssicherheitsapparate sind z. B. in Fig. 40, 50 u. 50a angegeben; die Fig. 379 u. 380 zeigen

Fig. 379.

Fig. 380.

Ueberspannungssicherungen der Maschinenfabrik Oerlikon.

die Ueberspannungssicherungen der Maschinenfabrik Oerlikon, der erste Apparat hat Hörner mit Funkenlöschung und Wasserwiderstände.

Die Land- und Seekabelwerke Köln-Nippes kombinieren eine Hörnerfunkenstrecke [1]) F mit einer darunter liegenden Hilfsfunkenstrecke f: Die Hauptfunkenstrecke F wird beträchtlich weiter eingestellt als der festgelegten Spannungsgrenze entspricht. Die Hilfsfunkenstrecke f besteht aus einer Platinspitze und einem auf das geerdete Horn aufgelöteten Platinblättchen. Die Platinspitze ist über einen hinreichend hohen Widerstand W mit dem an der zu schützenden Leitung L liegenden Horn verbunden. Die Vorschaltung des Widerstandes, welcher etwa 10000 Ω pro 1000 Volt beträgt, hat den Zweck, die durch die Hilfsfunkenstrecke ausgelöste Energiemenge auf einen kleinen Wert herabzudrücken.

Eine zweite Anordnung, welche speziell für gemischte Leitungsnetze, bestehend aus Freileitung und Kabel, bestimmt ist, ist die Zapfsche Trommel. Um ein Kabel gegen schädliche Ueberspannungen zu schützen, führt man an einer Stelle, z. B. da, wo die Freileitung in die unterirdische Leitung übergeht, oder vor Anschluß der Maschinen, eine Schwächung der Leiter gegen Erde ein in der Absicht, daß an

[1]) E.T.Z. 1905, S. 194.

Digitized by Google

dieser Stelle der Durchschlag erfolgen soll. Diese Schwächung der Isolation erfolgt durch Einbau einer kurzen Länge von Einleiterkabel, welches auf eine isoliert aufgestellte Trommel aufgewickelt, gleichzeitig als Drosselspule wirkt. Die einzelnen Windungen des geerdeten Bleimantels dieses Kabels sind, um das Auftreten von Induktionsströmen zu verhindern, gegeneinander isoliert. In der Leitung, welche den Bleimantel erdet, ist ein Schalter vorhanden, welcher nach erfolgtem Durchschlag geöffnet wird, bis die Trommel ausgewechselt ist.

In Kabelnetzen baut dieselbe Firma Muffen ein, welche in Oel gesetzte Funkenstrecken enthalten; die beiden Elektroden liegen konzentrisch ineinander und sind schlechter isoliert als das Kabel selbst. Von jeder Muffe geht eine Signalleitung zur Zentrale.

Zum Ein- und Ausschalten von langen Leitungen und Kabelstrecken sollte man möglichst Oelschalter verwenden. Ferner wird es häufig erforderlich, am Ende langer Leitungen oder längs der Leitungen zur Kompensation der Kapazität zwischen den einzelnen Leitungsdrähten Drosselspulen oder untererregte Synchronmotoren aufzustellen. In Kabelnetzen wird häufig eine sogen. Langsameinschaltevorrichtung benützt, die z. B. aus einem Wasserwiderstand (Fig. 381[1]) von Ferranti) oder einer Widerstandspirale bestehen kann; den Widerstand W schaltet man wohl auch hinter einen Transformator (Fig. 382). Auch eine Drosselspule, über die man allmählich einen geschlossenen Kupferzylinder schiebt, kann demselben Zwecke dienen[2]). Um Kabel oder Kabelnetze allmählich auf Spannung zu bringen, kann man ferner ein besonderes Generatoraggregat aufstellen, an das man bei der Spannung Null das Kabel anlegt, dann steigert man die Generatorspannung ganz allmählich bis auf Netzspannung und schaltet dann auf die Sammelschienen um. In den meisten Fällen wird man für diese kurz dauernde Aufgabe einen gerade nicht benützten Generator verwenden können[3]). Auch einen Drehtransformator (Potentialregulator) kann man zum Laden eines Kabelnetzes benützen. Um Durchschläge an den ersten Spulen eines Hochspannungsdrehstrommotors zu verhindern, legen Lahmeyer-Frankfurt während des Anlassens eine Drosselspule vor den Motor.

Spannungssicherungen, welche dazu bestimmt sind, Niederspannungskreise vor dem Auftreten hoher Spannungen gegen Erde zu schützen, bestehen z. B. nach Fig. 382a, einer Ausführung der Allgemeinen Elektrizitäts-Aktiengesellschaft, aus einem massiven Stöpsel, bei dem zwischen Kontaktschiene und Stöpsel ein Glimmerplättchen von 0,2 mm Dicke gelegt wird[4]). Dasselbe ist zur Bildung

[1]) In Fig. 381 ist unten im Wassergefäß eine Klemme, die andere ist mit Hilfe des Spiralbandes mit dem kolbenartigen Kopf der vertikal verschiebbaren Stange verbunden.

[2]) Siehe z. B. Niethammer, Elektrot. Praktikum Fig. 35.

[3]) Weiteres über diesen Punkt findet sich in dem Abschnitt „Leitungen".

[4]) Die Empfindlichkeit der Sicherung wird dadurch erhöht, daß man die Glimmerplatte beiderseits mit Stanniol belegt (Görges-Adelmann).

Digitized by Google

einer Luftstrecke im Mittelpunkt durchlocht. Eine Klemme ist mit Erde, die andere mit einem Punkte des Niederspannungskreises, z. B. mit dem neutralen Punkt der Niederspannungswicklung eines Transformators verbunden. In D. R.-P. 131167 beschreiben Schuckert & Co. eine Spannungssicherung, bei der während des Ersatzes des Stöpsels die

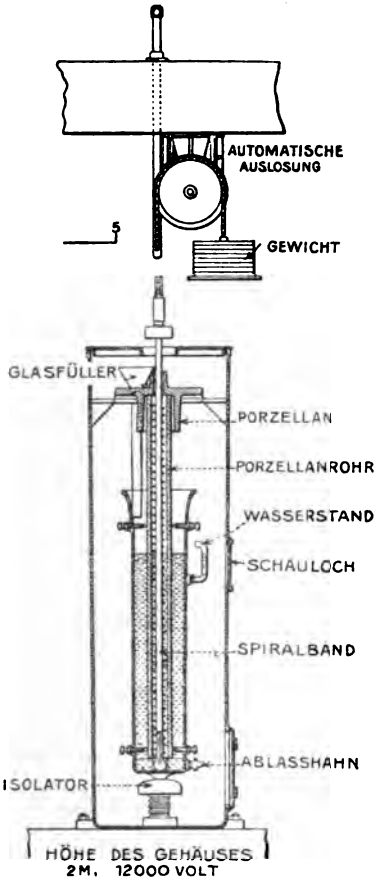


Fig. 381.

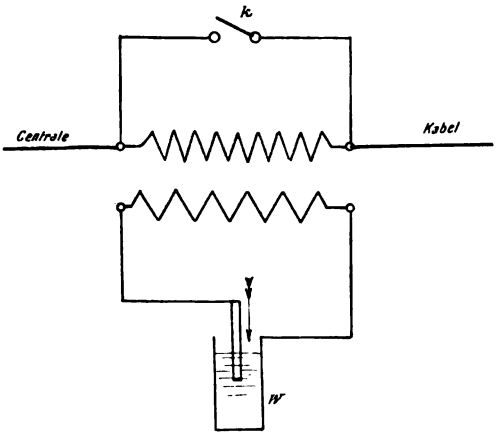


Fig. 382.

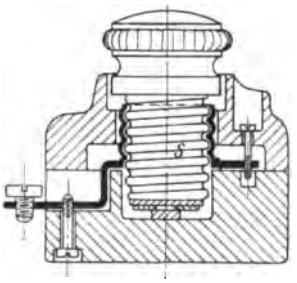


Fig. 382a.

Leitung direkt geerdet ist. Voigt & Häffner liefern statt der Spannungssicherungen auch Plattenkondensatoren ähnlich Fig. 362, die man mit Hilfe eines Schalthebels oder einer Glühlampe überbrücken kann, wobei eine direkte Erdverbindung entsteht. Stellt man die Spannungssicherungen so empfindlich ein, daß sie bei einem Strom von etwa 0,1 Amp. schon zusammenschmelzen, so dürften sie jeglichen dem menschlichen Körper gefährlichen Uebertritt von Hochspannung in derart gesicherte Niederspannungskreise in der Regel verhindern [1]).

[1]) Siehe E.T.Z. 1905, Heft 13, 14 u. 15 im Briefkasten (Görges & Benischke).

Digitized by Google

VII. Widerstände.

30. Abmessungen des Widerstandsmaterials.

Bevor ich zur Behandlung der Regulatoren und Anlasser übergehe, soll die Berechnung und die Konstruktion der Widerstände besprochen werden.

Die Bemessung der Widerstände hängt zunächst davon ab, ob sie kurzzeitig oder dauernd eingeschaltet sind. Als Dauerbetrieb ist auch ein Betrieb anzusehen, bei dem der Widerstand sehr oft mit kurzen Pausen hintereinander benützt wird. Die Höhe der zulässigen Beanspruchung des Widerstandsmaterials ist ferner von der Festlegung der Uebertemperatur T, vom spezifischen Widerstand, von der Form des Querschnitts und ganz bedeutend von der Art des Aufbaus abhängig. Die roheste Bestimmung des Querschnittes beruht auf der Annahme einer bestimmten Stromdichte i_s, z. B. für Nickelin 2 bis 5 Amp. pro qmm bei Dauereinschaltung, 5 bis 15 Amp. pro qmm für rasch vorübergehende Einschaltung. Bei anderem spezifischem Widerstand w_s und anderer Uebertemperatur T ändert sich diese zulässige Beanspruchung mit $\sqrt{\frac{T}{w_s}}$. Die zulässige Stromdichte i_s kann jedoch bei gegebener Erwärmung T für großen Querschnitt kleiner werden als bei kleinem und bei bandförmigem Querschnitt größer als bei rundem.

Theoretisch genauer sind bereits Beziehungen, die für Dauerbelastung den Querschnitt q bei dem Umfang u nach der Beziehung ermitteln

$$J = c\sqrt{uq} \quad \text{oder} \quad i_s = c\sqrt{\frac{u}{q}}, \quad . \quad . \quad . \quad (24)$$

oder den Durchmesser d nach der Beziehung

$$J = c_1 d^{3/2} \quad \text{und} \quad i_s = c_1 . \frac{4}{\pi}\sqrt{1/d}. \quad . \quad . \quad . \quad (25)$$

Dabei ist $c_1 = \frac{\pi}{2} c$. Es wird wohl auch $J = c_2 d^{4/3}$ gesetzt. Für Um-

Digitized by Google

rechnungen von c und c_1 auf andere Uebertemperaturen T und Materialien mit anderem spezifischem Widerstand ist zu beachten, daß $c = k\sqrt{\frac{T}{w_s}}$ und $c_1 = k_1\sqrt{\frac{T}{w_s}}$ ist. Für einzeln verlegte Kupferdrähte ist bei $T = 40^0$ etwa (d in mm)

$$d = 0{,}2\ J^{2/3},$$

für verzinkte Eisendrähte und $T = 40^0$ etwa

$$d = 0{,}3\ J^{3/4}.$$

Für Nickelindraht, der bei Dauerbelastung gerade nicht zum Glühen kommt, ist (d in mm)

$$J = 15\ d^{3/2} \quad \text{und} \quad i_s = \sim \frac{20}{\sqrt{d}}$$

und für Nickelinbänder 0,3 mm stark (Maße in mm)

$$J = 4{,}8\sqrt{u\,q} \quad \text{und} \quad i_s = 4{,}8\sqrt{\frac{u}{q}}.$$

Für Dauereinschaltung (Nickelin) und $T = 20^0$ ist

$J = 3{,}5\ d^{3/2}$; für $T = 80^0$
$J = 7\ d^{3/2}$; für kurzzeitige Einschaltung und 80^0
$J = 20\ d^{3/2}$.

Nach Erlacher[1]) ist bei einer Uebertemperatur $T = 100^0$ für Nickelin in Form von Spiralen oder auf Porzellanzylindern

$$J = 6{,}4\ d^{3/2}$$

bei den in der Praxis üblichen Ventilationsverhältnissen, und

$$J = 5{,}7\ d^{3/2}$$

für schlechte Ventilation (d in mm).

Für Spiralen dürfte bei Anlassern $T = 300^0$ das höchst Zulässige sein, wofür $J = 11{,}1\ d^{3/2}$ bis $9{,}88\ d^{3/2}$; bei Verwendung von Porzellanröhren und Widerstandspaketen kann man in Anlassern bis $T = 450^0$ gehen, wofür

$$J = 13{,}6\ d^{3/2} \text{ bis } 12{,}1\ d^{3/2}$$

ist. Für Dauereinschaltung sollte $T = 200^0$ bis 100^0 sein, und zwar ist für $T = 200^0$

$$J = 9{,}05\ d^{3/2} \text{ bis } 8{,}06\ d^{3/2}.$$

Für Porzellanzylinder gibt Erlacher auch den Ausdruck

$$J = k.d\,\frac{1}{\sqrt{l}},$$

[1]) E.T.Z. 1902, S. 405.

Digitized by Google

falls l die Drahtlänge pro Zylinder in Meter ist; dabei wird

k =	18	25	35	40
für T =	100	200	300	400°

Für kurzzeitige Belastung von der Dauer t Sek. ist (q in qmm)

$$q = C.J\sqrt{\frac{t}{T}},$$

wobei C = 0,07 für Kupfer, C = 1,2 für Nickelin und C = 0,17 für Eisen.

Uppenborn hat empirisch für dauernd belastete Konstantanbänder die Beziehung

$$q = 0{,}016\ J^{1{,}55}$$

ermittelt, wobei die Bänder gerade noch nicht zum Glühen kommen (etwas weniger als 500°). — Schließlich kann man ähnlich wie bei der Berechnung von Dynamomaschinen die zulässigen Watt pro qdm für eine bestimmte Uebertemperatur angeben, z. B. 50 Watt pro qdm für Dauereinschaltung und 500 Watt pro qdm bei kurzzeitiger Beanspruchung, T = 100° vorausgesetzt. Bei kurzzeitiger Belastung sollte allerdings richtiger mit den Watt pro kg Widerstand gerechnet werden, dabei sind immer mehr Watt pro kg zulässig, je höher die spezifische Wärme des betreffenden Materials ist. Zweckmäßig geht man noch weiter und legt die zulässigen Watt pro qdm und pro 1° Temperaturerhöhung fest. Bei T Grad Celsius sind dann die zulässigen Watt Tmal größer.

Die genaue Lösung des Problems geschieht jedoch nach der bekannten Beziehung: Die im Widerstand verzehrten Watt × Zeit t in Sek. sind gleich der absorbierten Wärme plus der ausgestrahlten, d. h. in einer Gleichung (w = totaler Widerstand)

$$0{,}24\int_0^t J^2\,w\,dt = T.s_w.G + c'F\int_0^t T\,dt. \quad . \quad . \quad (26)$$

Ist J konstant, so heißt die linke Seite $0{,}24\ J^2 w t$. — s_w = spezifische Wärme, G Gewicht des Widerstandes in g, F ausstrahlende Oberfläche in qcm, c′ der Wärmeausstrahlungskoeffizient. Dafür läßt sich auch schreiben, wenn q in qmm, der Umfang u in cm

$$\frac{0{,}24.w_s}{q}J^2.t = \frac{0{,}24.w_s}{q}\int_0^t J^2\,dt = T.s_w.s_g\,q + 100.c'.u\int_0^t T\,dt \quad (27)$$

s_g = spezifisches Gewicht bezogen auf c^3 und g, w_s = spezifischer Widerstand auf m und qmm bezogen.

Digitized by Google

Für den Fall des kurzzeitigen Betriebes geht diese Gleichung über in

$$\frac{0{,}24\, w_s}{q}\, J^2 t = T\, s_w\, s_g\, q \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (28)$$

oder

$$T = \frac{0{,}24 \,.\, w_s \,.\, J^2 t}{q^2 \,.\, s_w \,.\, s_g} \quad \text{oder} \quad T = \frac{0{,}24\, w_s \int_0^t J^2 dt}{q^2 \,.\, s_w \,.\, s_g}$$

oder auch

$$\boxed{T = \frac{0{,}24 \,.\, J^2 w \,.\, t}{G \,.\, s_w}} = \frac{0{,}24\, w_s\, i_s^2\, t}{s_w\, s_g} \quad . \quad . \quad . \quad (29)$$

Besteht der Körper aus G_1 Gramm von der spezifischen Wärme s_{w_1}, G_2 Gramm von s_{w_2} etc., so wird

$$T = \frac{0{,}24\, J^2 w \,.\, t}{G_1\, s_{w_1} + G_2\, s_{w_2} + \ldots} = \frac{0{,}24\, J^2 w\, t}{\Sigma\,(G\, s_w)} \quad . \quad . \quad (30)$$

Für die meisten Metalle (Kupfer, Eisen, Nickelin) ist

$$T = \frac{A_v}{3{,}5 \,.\, V}\, t \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (31)$$

(A_v = Wattverlust, V = Volumen des Körpers in c^3, t = Sekunden).

Für den Fall des Dauerbetriebs erhält man

$$\frac{0{,}24\, w_s}{q} \int_0^t J^2 dt = 100 \,.\, c' u \int_0^t T dt \quad . \quad . \quad (32)$$

oder angenähert

$$T = \frac{0{,}24\, w_s \,.\, J^2}{100 \,.\, q \,.\, c' u} = \boxed{C J^2 \frac{w_s}{u q}} = C\, \frac{i_s^2\, w_s\, q}{u} \quad . \quad . \quad (33)$$

oder auch

$$T = \boxed{C' \frac{J^2 w}{F},} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (34)$$

worin C' von 100 bis 1000 schwanken kann, falls F in qcm gegeben ist.

Für Nickelinspiralen ist C' = 150 bis 500, bei Röhren (nur äußere Oberfläche gerechnet) C' = 150 bis 400 (bei horizontaler Lage 100 bis 300), bei Paketwiderständen aus Nickelin C' = 100 bis 200, bei Gußspiralen C' = 1000, bei Oelanlassern C' = 500, wenn F die Kastenoberfläche ist. C ist gleich $\frac{C'}{100}$.

Digitized by Google

Für kurzzeitigen Betrieb ergibt sich aus obigem auch $T = C_1 \cdot \left(\frac{J}{q}\right)^2 t$ $= C_1 \cdot i_s^2 \cdot t$, $C_1 = 0{,}1$ bis $0{,}2$ für die üblichen [1]) Widerstandsdrähte.

Die Formeln für kurzzeitigen Betrieb dürfen bei luftigen Widerständen nur für $t < 120$ Sek., bei Paketwiderständen für $t < 300$ Sek. benützt werden. Bei kurzzeitigem Betrieb kann J bei gleicher Endtemperatur mit etwa $\sqrt{\frac{1}{t}}$ wachsen; Versuche ergeben

t = 2	6	50 Sek.
J = 124	101	35 Amp.

Für einen mäßig lange dauernden Betrieb von der Zeit t, d. h. für den allgemeinen Fall, kann man dann einfach annähernd setzen [2])

$$T = \frac{0{,}24\, J^2 w \cdot t}{s_w G + \frac{F}{C'} t} = \frac{0{,}24\, w_s \cdot J^2 \cdot t}{s_w \cdot s_g \cdot q^2 + \frac{u q}{C} t} \quad . \quad (35)$$

Genau genommen müßte $\frac{F}{C'} t$ mit einem Faktor < 1 aber $> 1/2$, der von t abhängt, multipliziert werden. Bei Anlassern wird man gewöhnlich eine Uebertemperatur von 100 bis 150° zulassen, ja bei feuersicherem Einbau kann man bis zum angehenden Glühen oder gar zur Dunkelrotglut gehen bezw. so weit, bis Nickelin- oder Konstantanbänder gelb anlaufen. Bei dauernd beanspruchten Widerständen sollte man nicht über 100 bis 150° hinausgehen. Die zulässige Beanspruchung einiger bekannten Anordnungen von Widerständen stehen in folgender Tabelle:

Material	Ampere/qmm		Watt/qdm und pro 1° C.	
	dauernd	kurzzeitig	dauernd	kurzzeitig
Nickelinspiralen	2—3	5—15	0,2—0,8	1—10
Eisenröhren mit Nickelin vertikal stehend	20—5	—	0,07—0,25	0,3—1,8 (horiz. 70% davon)
Paketwiderstände aus Nickelin mit Rippen	3—5	10—15	1—2	20
Gußspiralen	1—2	5—7	0,1	0,3
Oelanlasser	—	—	0,1—0,5	3—6
In Email gebettete Widerstände [3])	—	—	100	400—500

[1]) $C_1 = \frac{0{,}24\, w_s}{s_w \cdot s_g}$.

[2]) J = Ampere, w = Ohm, t = Sek., G = Gramm, s_w = spezifische Wärme (Wasser = 1), F in qcm, w^s für 1 m und 1 qmm, q in qmm, s_g = Gewicht von 1 c^3 in g, u in cm. Statt $J^2 w$ kann man auch durchweg A_v = erzeugte Watt (inkl. Hysteresis und Wirbelströme) setzen.

[3]) Siehe Fig. 414.

Digitized by Google

Klöckner rechnet einfach 1/3 Watt pro 1 qcm Kastenoberfläche für seine in Fig. 397—402 abgebildeten Widerstände bei Dauereinschaltung. Legt man die Drähte und Bänder direkt in Wasser, das fortwährend erneuert wird, so sind Beanspruchungen von 30 bis 100 Amp./qmm möglich, pro 20 bis 50 qcm Oberfläche des Drahtes kann etwa 1 KW vernichtet werden, siehe unter Flüssigkeitsanlasser.

Ein Widerstand erreicht seine Endtemperatur T auf a % in t Sek.:

$$t = \tau \log_{nat}\left(\frac{100}{a}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (36)$$

$$\tau = \frac{4{,}16 \,.\, T}{A_v} \Sigma\,(G \,.\, s_w) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (37)$$

$\Sigma\,(G \,.\, s_w) = G_1 s_{w_1} + G_2 s_{w_2} + \ldots =$ Summe der Produkte Gewicht in Gramm $\times$ spezifische Wärme für die einzelnen Teile, aus denen der Widerstand besteht, $A_v =$ mittlerer Wattverlust ($J^2 w$). Bis auf 1 % wird T erreicht in

$$t_1 = 5{,}3 \frac{T}{A_v} \Sigma\,(G \,.\, s_w) \,.\, 10^{-3} \text{ in Stunden.} \quad . \quad . \quad (38)$$

Für Nickelinspiralen ist z. B.

$$t_1 = 0{,}53 \frac{T}{A_v} G \,.\, 10^{-3} \text{ in Stunden.}$$

Bis auf 10 % wird T in $\frac{t_1}{2}$ Stunden erreicht! Für Nickelindraht von d cm Durchmesser ist etwa

$$t_1 = 32\, d^3 \frac{T}{J^2} \text{ in Stunden.}$$

Für den Fall, daß $T = 300 \,.\, J^2 w : F$, wird

$$t_1 = 0{,}16 \text{ Stunden oder } 9 \text{ Min. } 36 \text{ Sek.,}$$

oder allgemein für Nickelinspiralen

$$t_1 = \sim 5 \,.\, \frac{C'}{10^4} \text{ in Stunden.}$$

C' siehe Gl. 34.

Der spezifische Widerstand w_s, das spezifische Gewicht und die spezifische Wärme sind nachstehend gegeben:

Digitized by Google

Material	Widerstands-[1]) koeffizient w_s	Temperatur-koeffizient $100\,\alpha$	spez. Wärme[2]) s_w	spez. Gew. s_g
Aluminium . . .	0,0287	0,388	0,21	2,6
Eisen	0,098—0,18	0,48	0,11	7,2—7,9
Graphit	12	0,0009	0,20	2,1
Kruppin	0,85	0,07	$0{,}01_2$	8,1
Kupfer	0,0163—0,0174	0,38—0,44	$0{,}09_3$	8,9
Messing	0,071	$0{,}16_5$	$0{,}09_2$	8,5
Neusilber . . .	0,30	0,036	$0{,}09_5$—$0{,}09_5$	8,5
Nickelin	0,34—0,56	0,028—0,019	$0{,}09_5$—$0{,}10_5$	8,1—8,9
Quecksilber . .	0,94	0,0907	0,033	13,6
Silber	0,016—0,017	0,377	0,056	10,5
Kohle	500	—0,0005 (Mittelwert)	0,19	(0,4—)1,5
Bronze	0,017—0,056	—	—	—
Oel zum Kühlen .	—	—	0,4	0,9—0,8
Konstantan . . .	0,48	—	0,10	8,80
Isolationsmaterial	—	—	0,5	0,8—2,0

Die verwendeten Widerstandsmaterialien sind zu normalisieren, z. B. Drähte von 0,1 bis 3 mm in Abstufungen von 0,1 mm und Bänder von $2 \times 0{,}2$ mm bis $50 \times 0{,}5$; die Dicke liegt zwischen 0,1 bis 1.

Kruppin kann nur halb so stark beansprucht werden wie Nickelin und neigt zum Rosten. In Oel abgelöschtes Eisen rostet nicht.

Die von den Widerstandselementen nach den Klemmen führenden Drähte wählt man meist aus weichem Kupfer von etwa doppeltem Querschnitt wie die zugehörigen Nickelindrähte oder -streifen. Diese Verbindungsdrähte sind feuersicher zu isolieren. Der Anschluß an die Widerstände und Klemmen sollte durch Verschraubung und nicht durch Lötung mit Weichlot geschehen. Elektrische Schweißung ist für die Widerstandsverbindungen auch empfehlenswert, die Verschraubung erleichtert indes die Reparaturen.

Widerstände für Wechselstromkreise (z. B. Drehstromanlasser) sollen meist möglichst geringe Selbstinduktion haben, übliche Spiralen erzeugen immerhin Phasenverschiebungen von 5 bis 15°.

31. Konstruktion der Widerstände.

Widerstandsdrähte und -bänder kommen in folgenden Formen zur Verwendung:

1. als gewickelte Spiralen (Fig. 383 bis 384),
2. als Gußspiralen (Fig. 385),

[1]) Auf 1 mm² und 1 m bezogen bei 15° C.

[2]) Zwischen 0 bis 100° C.

Digitized by Google

3. als Uhrfederspiralen (Fig. 386 u. 386a),
4. in gestreckter ausgespannter Form (Fig. 387),

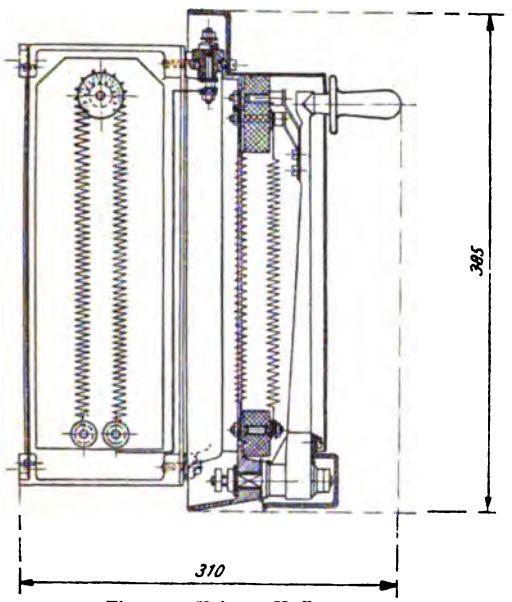


Fig. 383. Voigt & Häffner.

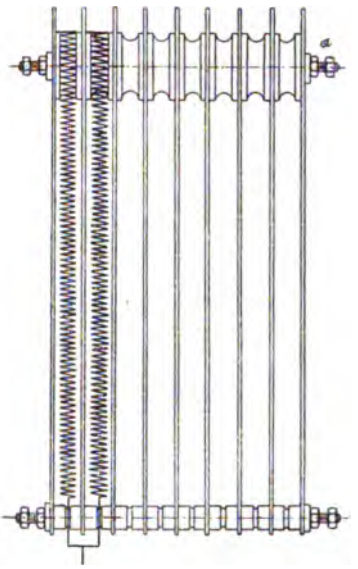


Fig. 383a.

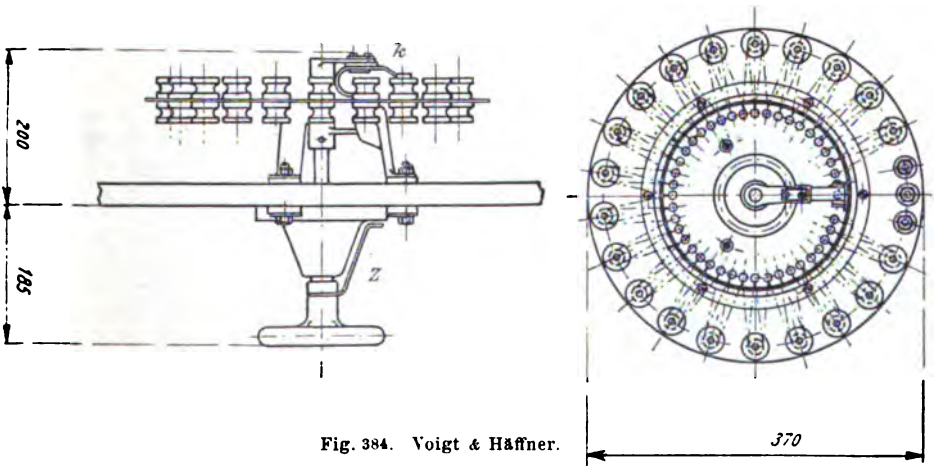


Fig. 384. Voigt & Häffner.

5. auf Röhren aus Eisen, Asbest oder Porzellan aufgewickelt (Fig. 388, nach D. R.-P. 115023 der Union E.-G.),
6. als Pakete (Fig. 389 u. 390),
7. als Drahtgitter in Netzform, wobei das Ganze in eine Asbestmasse getaucht werden kann (Schniewindts Gitter).

Digitized by Google

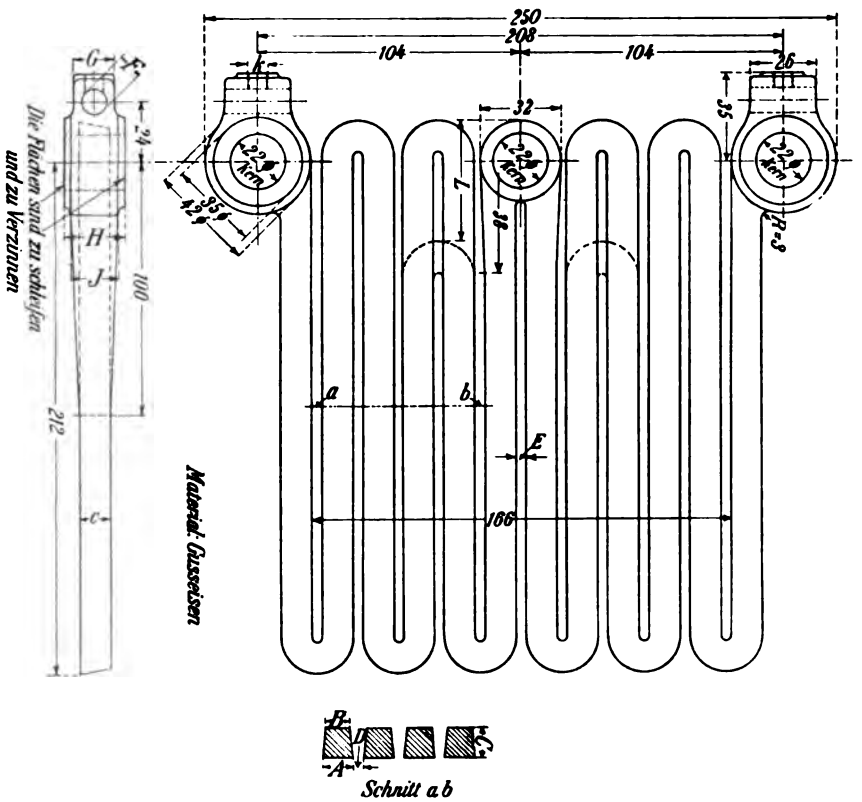


Fig. 385. Union E.-G.

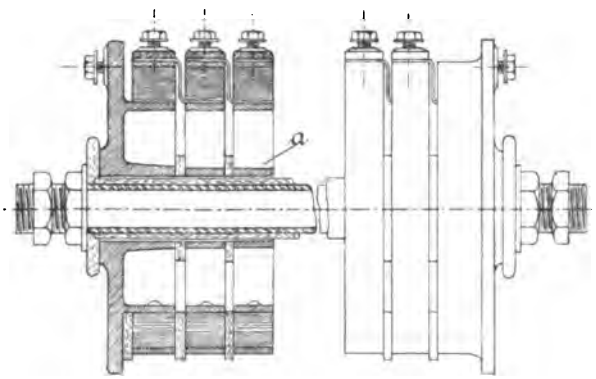


Fig. 386.

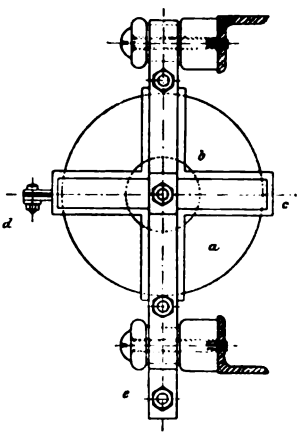


Fig. 386a.

Ferner lassen sich Ton- oder Porzellanstücke durch Distanzstücke aus Blech festlegen (Fig. 391); über diesen zusammengebauten Körper wickelt man den Draht. Die Anordnung Fig. 391 ist von Ernst Heu-

Digitized by Google

bach für die Union Berlin entworfen worden. Das Eisenblech 3 ist verzinnt. Ein ähnlicher Widerstand wird nach Fig. 392 von Ferranti gebaut. Siemens & Halske-Wien haben die beiden beachtenswerten Widerstandselemente Fig. 393 u. 394 entwickelt, die nur

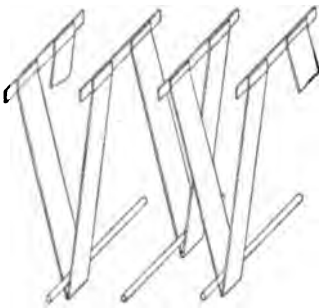


Fig. 387.

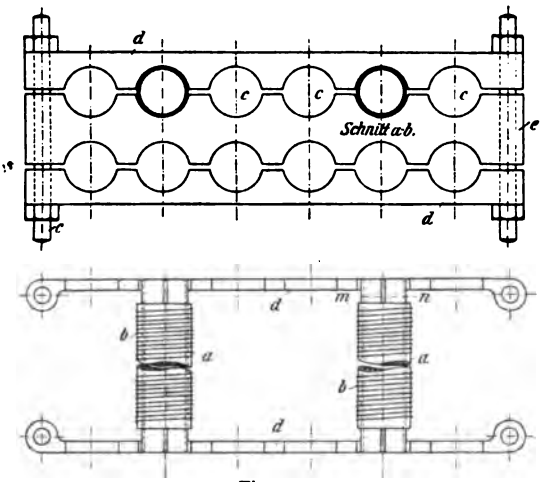


Fig. 388.

als Bruchstück gezeichnet sind. In Fig. 393 wird zunächst an dem Mittelstück b aus Porzellan durch ausgestanzte Lappen das Blech a befestigt. Das Blech ist zur Versteifung etwas gewellt (c). Beiderseits

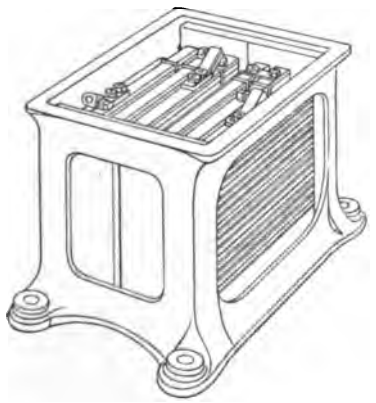


Fig. 389.

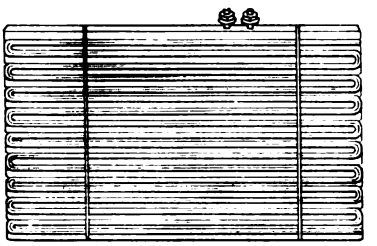


Fig. 390.

Union E.-G.

auf dieses Blech schiebt man die Porzellanformstücke d und wickelt dann den Nickelindraht in die Rillen von b und d. Der Anschluß erfolgt durch eine Reiterklemme e. Solche Elemente reiht man beliebig viele auf Bolzen. Fig. 394 ist für Nickelinband bestimmt. Das Gerippe

Digitized by Google

besteht aus U-förmig gebogenen Blechstreifen a und den Eisenblechen b, die miteinander vernietet sind. Darüber legt man auf der Seite Glimmerplatten und an den Enden Porzellanstücke, worauf das Element zum Wickeln fertig ist.

Um den Bandstreifen Fig. 387 eine gewisse Steifigkeit zu geben, stellt man sie wohl auch aus gewelltem Nickelinblech her oder benützt den Querschnitt Fig. 395 (Lahmeyer-Frankfurt). Wichtig ist es, die Bänder bei allen Temperaturänderungen gespannt zu halten.

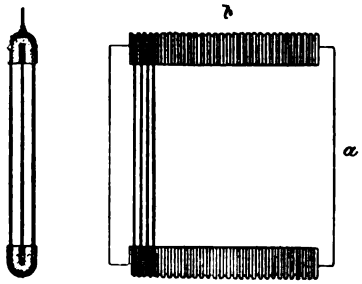


Fig. 392.

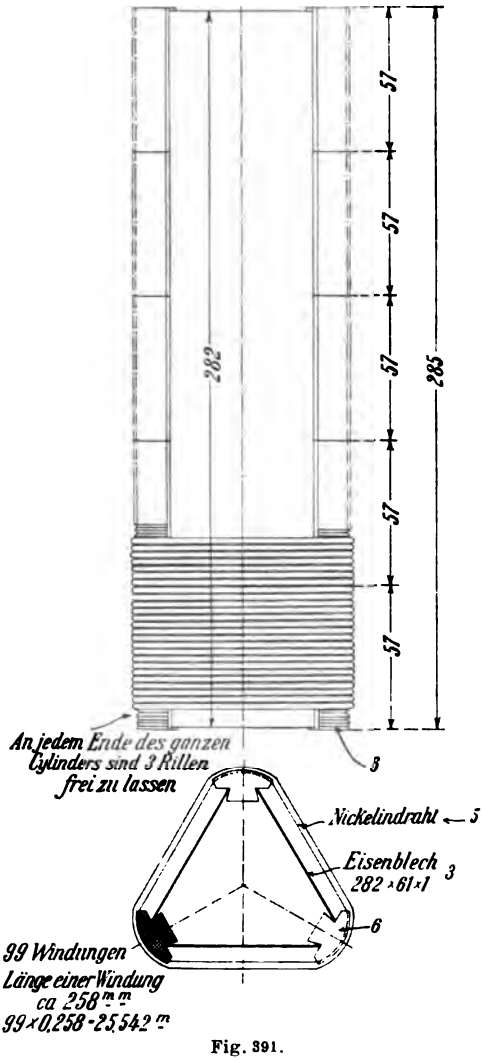


Fig. 391.

Spiralen, die frei gewickelt sind, müssen entweder kurz und straff gespannt sein, siehe Fig. 396, die einen Bahnwiderstand der Siemens-Schuckert-Werke zeigt, oder aber es sind in kurzen Abständen zwischen die Spiralen Distanzstücke z. B. aus Schiefer einzufügen, siehe Fig. 397 bis 399, von Klöckner in Köln. Eine Draufsicht auf diesen Widerstand ist in Fig. 398 gegeben. Auch die kurzen Spiralen des Drehstromanlassers Fig. 400 bis 402 sind durch eine Schieferplatte auseinandergehalten. Das Widerstandsmaterial wird durch einen Boden und eine Seitenwand aus perforiertem Blech abgedeckt (Fig. 402).

Den Aufbau der Spiralenwiderstände von Voigt & Häffner zeigen die Fig. 383 bis 384, in den zwei ersten Figuren liegen die über Isolierrollen geschlungenen Spiralen nebeneinander, durch Eisenbleche,

Digitized by Google

welche die Abkühlung unterstützen, getrennt; in der letzten Figur sind sie im Kreise angeordnet (D. R.-P. 141532). — Ist der Drahtdurchmesser der Spiralen d, so mache man den mittleren Spiraldurchmesser [1]) 4 bis

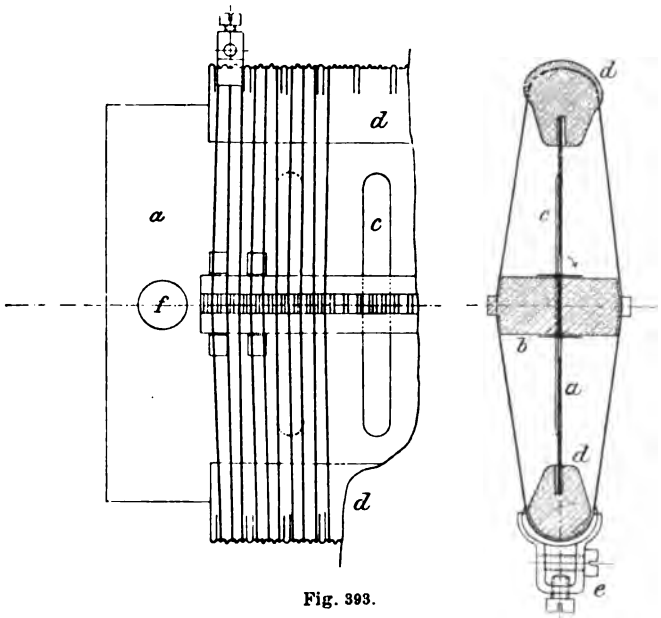
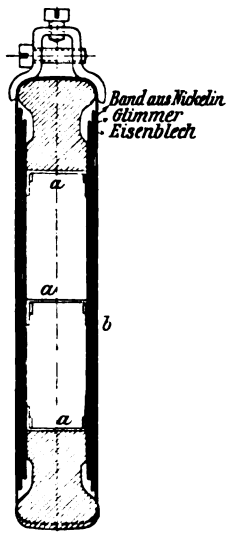


Fig. 393.



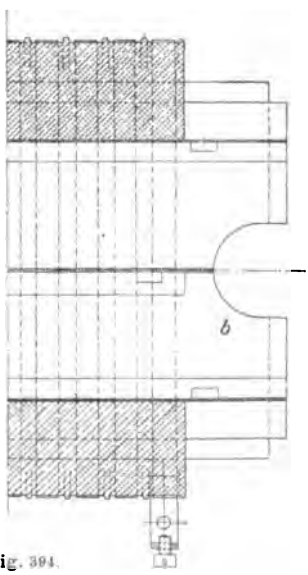


Fig. 394.

Fig. 395.

[1]) Man mache den Spiraldurchmesser nicht größer als 15 bis 20 mm und die Spirallänge $\leq$ 350 mm.

Digitized by Google

Fig. 396. Siemens & Halske.

10 d oder 5 + 5 d in mm und den Abstand von Mitte zu Mitte Draht 2 d. Die Firma Schuckert wickelt auch Nickelinband hochkant in Spiralen, z. B. den Querschnitt 0,2 × 20 mm.

Fig. 397.

Die mit Widerstandsdraht bewickelten Röhren a Fig. 388 des Anlassers der Union E.-G. werden unter Zwischenlegung von Glimmer-

Digitized by Google

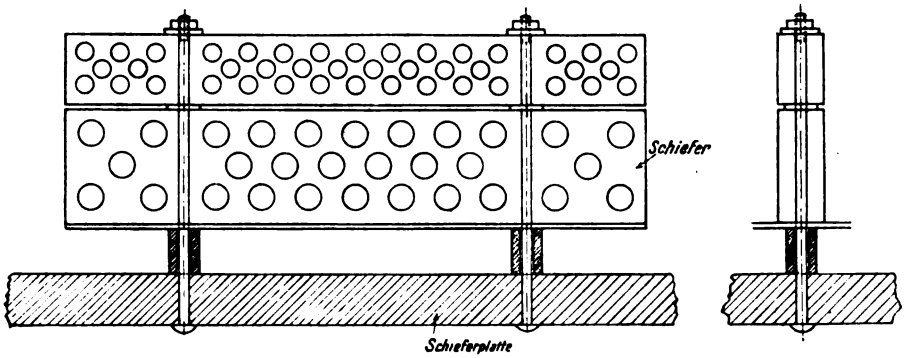


Fig. 398.

Fig. 399.

Fig. 400.

Fig. 401.

Digitized by Google

hülsen in Aussparungen c von aufeinander gereihten Gußschienen eingepreßt. Die mit Asbest belegten Eisenröhren Fig. 403b u. c werden öfters ganz flach gepreßt. Man kann den Draht auch ganz direkt auf Eisenstreifen (Fig. 403d u. e), die mit Asbest belegt sind, wickeln und diese Streifen nach Fig. 403a in einfacher Weise auf Bolzen zusammenbauen. Der Asbest kann auch nur die Kanten bedecken (Fig. 403f u. g)

Fig. 402.

und das übrige Blech für Abkühlung freilassen. (E. P. 5169 v. J. 1903 der General Electric Co.)

Die einfache Klemmvorrichtung Fig. 404 zur Befestigung von Röhrenwiderständen wird von einer amerikanischen Firma angewendet. Recht solide Röhrenwiderstände, z. B. für Bahnen, baut man aus Messingröhren auf, auf die man einen Glimmerzylinder mit Schrumpfringen aufpreßt. Als Widerstandsmaterial läßt sich Nickelstahl verwenden.

Die Spiralen Fig. 396 sind über Isolierrollen gelegt, welche auf einem Eisengerüst aus Winkel- und Flacheisen befestigt sind.

Der durch das österreichische Patent Nr. 17476 geschützte Widerstand von Siemens & Halske Fig. 405 ist in folgender Weise aufgebaut: Ein Metallband b wird mäander- oder zickzackförmig so gelegt,

Digitized by Google

daß Zwischenstücke c zwischen die Windungen aus leitendem Material angeordnet sind, wobei jedes Zwischenstück nur von dem einen anliegenden Band isoliert ist und die Enden der Zwischenstücke als

Fig. 403 a.

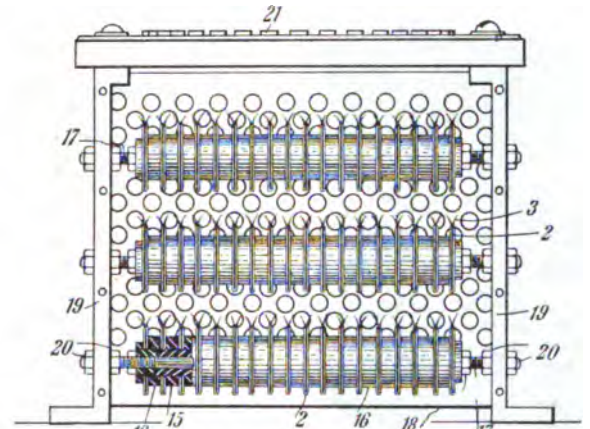


Fig. 403 b.

Fig. 403 d.

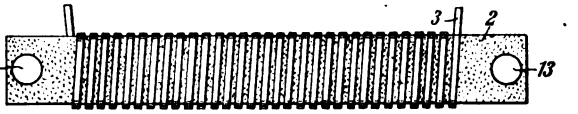
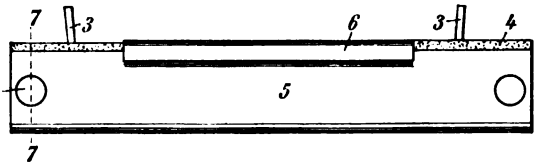


Fig. 403 f.



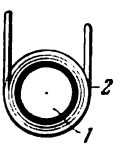


Fig. 403 c.

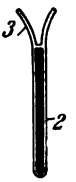


Fig. 403 e.

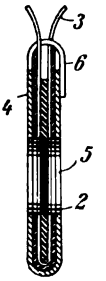


Fig. 403 g.

Gleitbahn für einen Schleifkontakt ausgebildet sind. Das Widerstandsmaterial ist überdies in Oel eingebaut.

Es ist wünschenswert, daß die heißen Widerstandskörper nicht allein durch perforiertes Blech, sondern auch durch Streifen aus feuer-

Digitized by Google

sicherem Isolationsmaterial abgedeckt werden, wie dies z. B. der Anlaßwiderstand Fig. 406 der E.-A.-G. Alioth erkennen läßt.

Vogelsang erreicht diesen Zweck in den Widerständen von Voigt & Häffner dadurch, daß er die Widerstandsspirale in ein mit

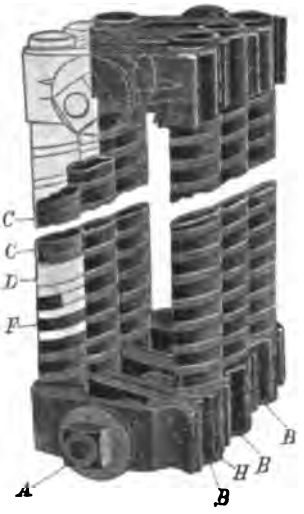
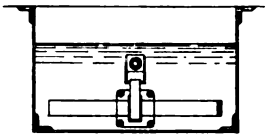


Fig. 404.



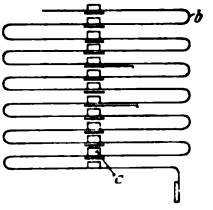


Fig. 405.

Asbest ausgekleidetes dünnes Metallrohr einschiebt (Fig. 407). Das Rohr wird nach dem Einschieben der Spirale mit gebranntem Zement

Fig. 406. E.-G. Alioth.

ausgestopft und mittels besonderer Porzellanstöpsel verschlossen, die mit geeigneten Bohrungen zur Ausführung der Drähte versehen sind. Der einfache Einbau dieser Röhren ist aus Fig. 408 ersichtlich. Es sind von diesen Röhren drei Normaltypen von 186, 266, 336 mm Länge vorhanden.

Digitized by Google

Der Aufbau der auf Porzellanröhren gewickelten Widerstände geschieht nach Fig. 409. Den Porzellanzylinder a mit Rillen nach einem Schraubengewinde halten die zwei dreiarmigen Messingendstücke b mit den Schrauben d fest. Die Stromabnahme erfolgt an den Messingringen c. Das Gußgehäuse deckt ein perforiertes Blech f. Der

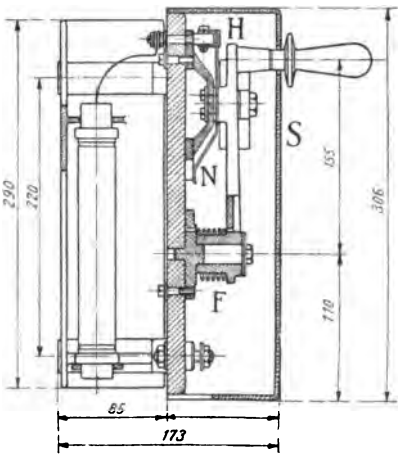


Fig. 408.

Fig. 407.

Einbau Fig. 410 der Porzellanröhren in einen Widerstandskasten rührt von Erlacher her. Die Röhren sind mit Schlitzen versehen, welche auf verschiebbare Ansätze a passen.

Die Electric Controller Co. (Amerika) wickelt den Widerstandsdraht auf einen mit Asbest isolierten Bolzen (Fig. 410a), der mit der Kontaktplatte verschraubt wird.

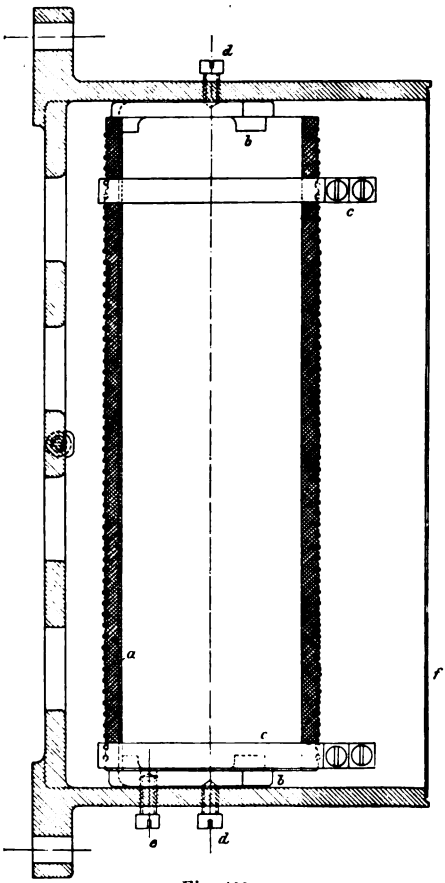


Fig. 409.

Digitized by Google

Für größere Stromstärken verwenden die General Electric Co. und andere Firmen Gußspiralen (Gußeisen besonderer Mischung) nach

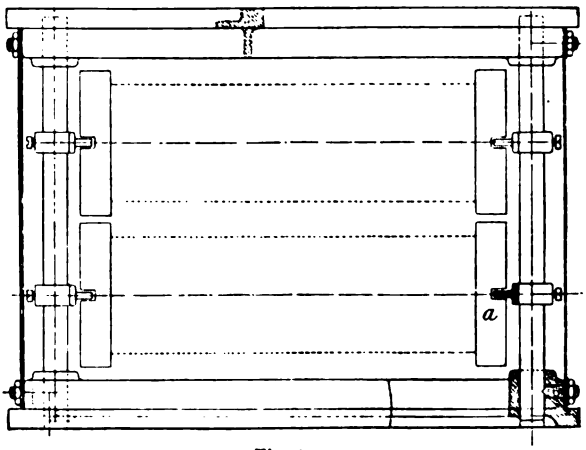


Fig. 410.

Fig. 385, die sorgfältig isoliert auf Stangen nach Fig. 411 zwischen zwei Winkeleisen oder Gußrahmen aufgehängt werden. Die Augen der Spiralen, die abwechselnd den Kontakt herstellen, sind zu verzinnen. Auf

Fig. 410a.

einer Seite werden zwischen die Spiralen Glimmerscheiben, auf der anderen verzinnte Eisenscheiben eingeschoben. Für 60 PS 500 Volt ist in Fig. 411 A = 466 mm, E = 382 mm, G = 370 mm, L = 13 mm. Die

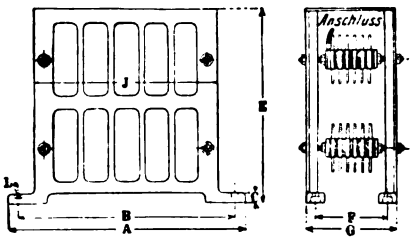


Fig. 411.

Gußspiralen tauche man zur Vermeidung des Rostens in einen geeigneten Lack. In Fig. 385 ist beispielsweise die Zahl der Windungen 6 und

Digitized by Google

A = 7,5 mm, B = 6,5 mm, C = 3,5 mm, D = 8,5, E = 6, F = 8, G = 13, H = 16, I = 13; K = $^5/_{16}$". Die Gußspiralen haben sich auf Hebezeugen und Bahnen bewährt, wenn bei ihrem Aufbau die nötige Sorgfalt verwendet wird. Um ein Zusammenschlagen der Spiralen zu vermeiden,

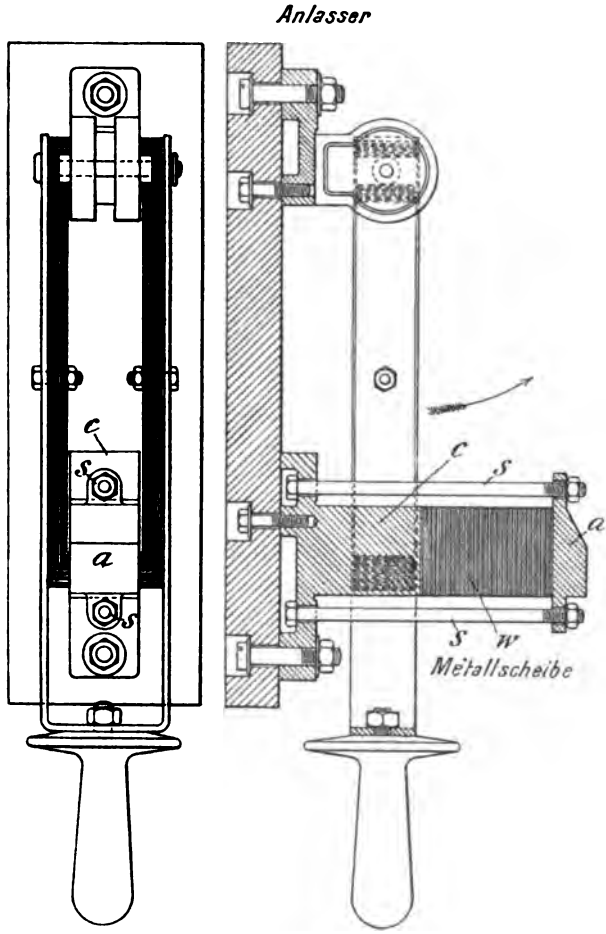


Fig. 412.

sind Halteleisten aus Fiber zwischenzuschieben. Die Bolzen müssen durch Glimmerrohre und die einzelnen Spiralen durch kräftige Glimmerscheiben isoliert werden.

Für Bahnen werden vielfach Paketwiderstände nach Fig. 389 bis 390 verwendet, wobei Blechstreifen aus Eisen oder Nickelin unter Zwischenlegung von Asbest zickzackförmig aufgebaut werden. Zur Abkühlung legt man wohl noch besondere Eisenstreifen ein Die Metallbänder lassen sich nach Fig. 386 u. 386a auch uhrfederartig aufwickeln;

Digitized by Google

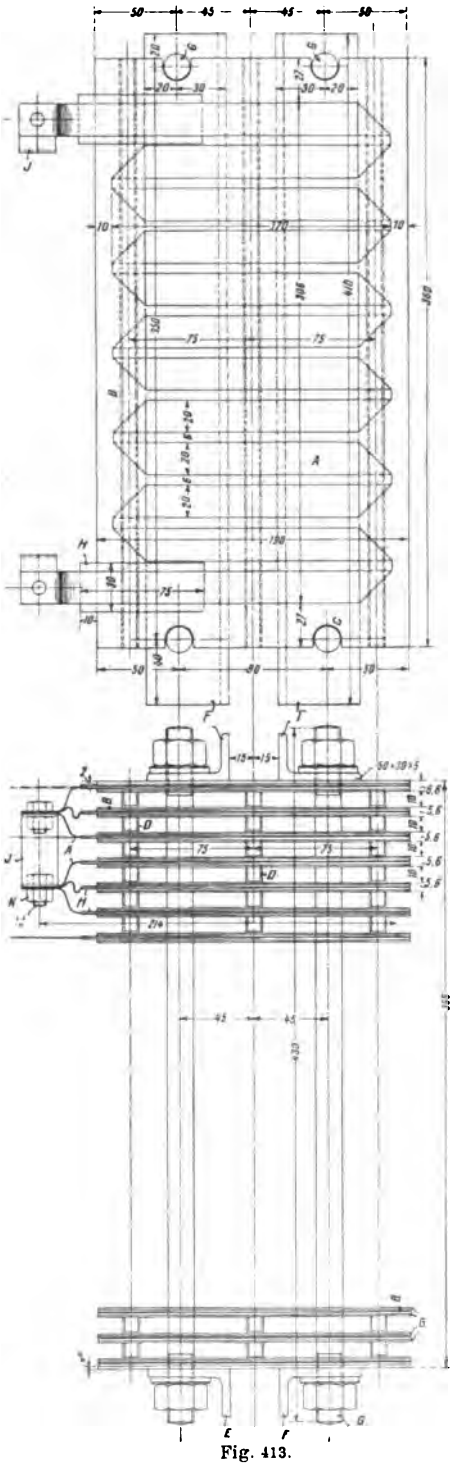


Fig. 413.

die einzelnen Spiralen werden entweder isoliert auf Winkeleisen aufgeschraubt (Fig. 386a) oder der Reihe nach auf ein isoliertes Gasrohr (Fig. 386) aufgeschoben.

Einen sehr kompendiösen Paketwiderstand zeigt nach E.P. 73693 vom Jahr 1902 die Fig. 412 von Siemens & Brothers. Es sind dabei abwechselnd Metallscheiben mit Leitern zweiter Klasse W aufgebeugt und durch Schrauben zusammengepreßt. Der Anlaßhebel gleitet direkt über

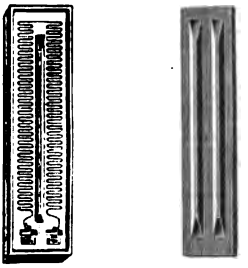


Fig. 414.

diese Widerstände. Obwohl die Raumbeanspruchung der Paketwiderstände sehr gering ist, ist anderseits zu beachten, daß ihre Wärmeausstrahlung sehr ungünstig ist. Sie eignen sich deshalb mehr für kurzzeitigen als für dauernden Betrieb, da es im letzten Fall mehr auf die Oberfläche ankommt. Ihre Abkühlung wird allerdings häufig durch eingelegte Metallscheiben und Anordnung von Rippen und Lüftungskanälen verbessert. Letzteres ist besonders aus der Zeichnung Fig. 413 eines Zickzackwiderstandes der Russischen Union

Digitized by Google

deutlich zu ersehen. Die einzelnen Bestandteile gibt die folgende Stückliste:

Pos.	Bezeichnung	Stück	Material	Bemerkungen
A	Nickelinband 20 × 0,3 mm	24	Nickelin	gestr. Länge = 2236
B	Asbestzwischenlage, 1,5 mm stark .	48	Asbest	
C	Blechplatte, 1 mm stark	48	Eisenblech	2 davon 2 mm stark
D	U-förmig gebog. Blech 10 × 10 × 1 mm	69	„	
E	Winkeleisen 50 × 30 × 5	2	Schmiedeeisen	
F	„ 50 × 30 × 5	2	„	
G	Bolzen mit 2 Muttern 5/8"	4	„	
H	Isolationsstück	96	Mikanit	
I	Verbindungsstück	7	Kupfer	gestr. Länge = 96 mm
K	Schraube mit Mutter 5/16"	16	Schmiedeeisen	

In E.P. 23279 (1904) ist das Widerstandsmaterial auf einem Gestell aufgebaut, das nach Art einer Nürnberger Schere auf- und zusammengeklappt werden kann. Weston baut Widerstände, deren Ohmzahl durch Variation des Drucks, mit dem verschiedene Elektroden aufeinander gepreßt werden, geändert wird; die Pressung erfolgt durch Druckluft oder -wasser (österr. Patent 18919).

Die meisten Widerstandsmaterialien werden durch Nüsse und Säuredämpfe angegriffen, besonders Kruppin wird unter diesen Umständen sehr brüchig. Am günstigsten verhält sich in Oel abgelöschter Eisendraht. Um dünne Drähte vor allen äußeren Einflüssen zu schützen, befestigen verschiedene Firmen die zickzackförmigen Widerstandsdrähte mit Hilfe eines Emailgusses, der sie vollständig bedeckt, auf einer gußeisernen Grundplatte mit Rippen. Ein solches Widerstandselement von Max Levy-Berlin zeigt Fig. 414.

Widerstände für kurzzeitigen Betrieb sollen hohe Wärmekapazität besitzen (Paketwiderstände, Widerstände in Oel oder in Sand oder Silikate von Natrium und Magnesium gebettet), während solche für Dauerbetrieb

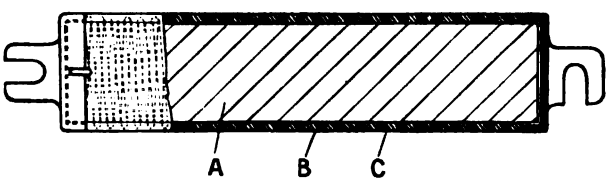


Fig. 415.

große Oberfläche haben wollen (luftige Spiralen, Emailwiderstände mit Rippen). Die A. E.-G. sucht nach D. R.-P. 155698 beide Forderungen in dem Widerstandselement Fig. 415 zu vereinigen. Auf einen

Digitized by Google

Körper A aus feuerfestem Material von hoher Wärmekapazität (Chamotte) wird der Widerstandsdraht B gewickelt und mit einem Material C von hoher Wärmeausstrahlungsfähigkeit (Carborundum mit Wasserglas) bedeckt.

Außer den Metallen wird auch Kohle und Graphit, die beide hohen spezifischen Widerstand haben, als Widerstandsmaterial benützt; erstere in Stab und Klotzform, letzterer in Pulverform. Die Graphitwiderstände (siehe E.T.Z. 1903, S. 847, R. Hopfelt[1]) haben die Eigenart, daß ihr Widerstand durch den durchfließenden Strom mit der Zeit durch eine Art Frittwirkung ganz bedeutend reduziert wird und zwar treten Veränderungen im Verhältnis 1 : 10 auf. Die folgende Tabelle zeigt dies am deutlichsten:

a) Hebel auf dem ersten Kontakt.

Eingeschaltet				Ausgeschaltet			
Zeit	Volt	Amp.	Widerstand Ohm	Zeit nach dem Ausschalten	Volt	Amp.	Ohm
0 Sek.	144	4,2	34,3	1 Min.	142	12,2	11,6
10 „	143	4	35,6	2 „	142	9,0	15,8
20 „	142	5	28,4	3 „	142	6,2	22,9
30 „	141	5,2	27,1	4 „	143	5,7	24,9
40 „	141,6	5,7	24,8	5 „	142	4,3	33,0
50 „	141,4	6,0	23,6	6 „	142	4,0	35,5
1 Min. 0 „	141	6,7	21,0				
1 „ 10 „	141	7,2	19,6				
1 „ 20 „	141	7,8	18,0				
1 „ 30 „	141,6	7,7	18,4				
1 „ 40 „	141,2	8,0	17,7				
1 „ 50 „	141	8,2	17,2				
2 „ 0 „	140,6	10,0	14,1				
2 „ 10 „	140,8	12,0	11,7				
2 „ 20 „	141	15,3	9,2				
2 „ 30 „	139	20,0	6,9				
2 „ 40 „	138,6	24,2	5,7				
2 „ 50 „	138,6	32,3	4,3				
3 „ 0 „	130	41	3,2				
3 „ 10 „	134	57	2,3				

Widerstand mit der Brücke gemessen vor der Messung 31,6 Ohm
„ „ „ „ „ nach „ „ 33,9 „

[1]) Ferner E.T.Z. 1901, S. 154, Dietze: Graphitanlasser der Maschinenfabrik C. Flohr.

Digitized by Google

b) Hebel auf dem zweiten Kontakt.

Eingeschaltet				Ausgeschaltet			
Zeit	Volt	Amp.	Ohm	Zeit nach dem Ausschalten	Volt	Amp.	Ohm
0 Sekunden	142	8,7	16,3	1 Min.	136	19	7,15
5 „	138	14,0	9,9	2 „	141	13,4	10,5
10 „	136	18,0	7,5	3 „	138	11	12,5
15 „	139	22,8	6,1	4 „	141	10	14,1
20 „	142	35,0	4,06	5 „	142	10,2	13,9
25 „	137	51,0	2,70				

Graphitwiderstände sind wohl ziemlich unempfindlich gegen Ueberlastung, aber die Isolation ist schwierig dauernd in gutem Zustand zu halten, ferner ist Graphitpulver stark hygroskopisch; die Abstufung der Graphitanlasser ist jedoch eine sehr feine und stetige; vor dem Ausschalten steigt der Widerstand auf viele Hundert Ohm, so daß kein Unterbrechungsfunken auftritt.

Auch Metalloxyde, also Leiter zweiter Klasse, haben die Eigenschaft, ihren Widerstand bei Stromdurchgang zu ändern, in noch ausgesprochenerem Maße; der durchgehende Strom vermindert ihren Widerstand nahezu von ∞ bis 0. Durch Einbrennen von Metallen auf Porzellan oder ähnlichem erzeugt man Widerstände, die besonders für Heizzwecke geeignet sind.

Metallwiderstände lassen sich in verschiedener Weise künstlich kühlen:

1. Dadurch, daß man den ganzen Widerstand mit einem Wassergefäß oder mit Wasserkühlschlangen umgibt, oder dadurch, daß man über die abgeschlossenen Widerstandselemente Wasser fließen läßt; bei einer einfachen Berieselung kann man auch die durch Verdunstung bedingte Kühlung benützen (D. R.-P. 141170 von Siemens & Halske).

2. Man setzt den ganzen Widerstand in einen mit Oel gefüllten Kasten (Fig. 416) der Union E.-G., welcher bei den Anlassern näher beschrieben wird. In die Oelgefäße großer Widerstände kann man Wasserkühlschlangen einbauen oder man läßt das Oel zirkulieren und kühlt es in einem besonderen Gefäß mit Wasserkühlung. Der Aufbau solcher Kühlgefäße ist derselbe wie der der Gehäuse künstlich gekühlter Transformatoren[1]).

3. Man führt mit Hilfe eines Ventilators dem Widerstand kalte Luft zu oder zieht die warme Luft durch einen Exhaustor ab.

[1]) Bd. II, Transformatoren; in Bd. II, Drehstrommotoren, wird ein Anlasser mit Zirkulationskühlung abgebildet.

Digitized by Google

Dabei ist durch geeignete Luftkanäle für die richtige Führung der Luft zu sorgen. Auch im Fall 2 kann ebenso wie im Fall 1 die Kühlflüssigkeit durch eine Pumpe in Zirkulation versetzt werden. Kennt

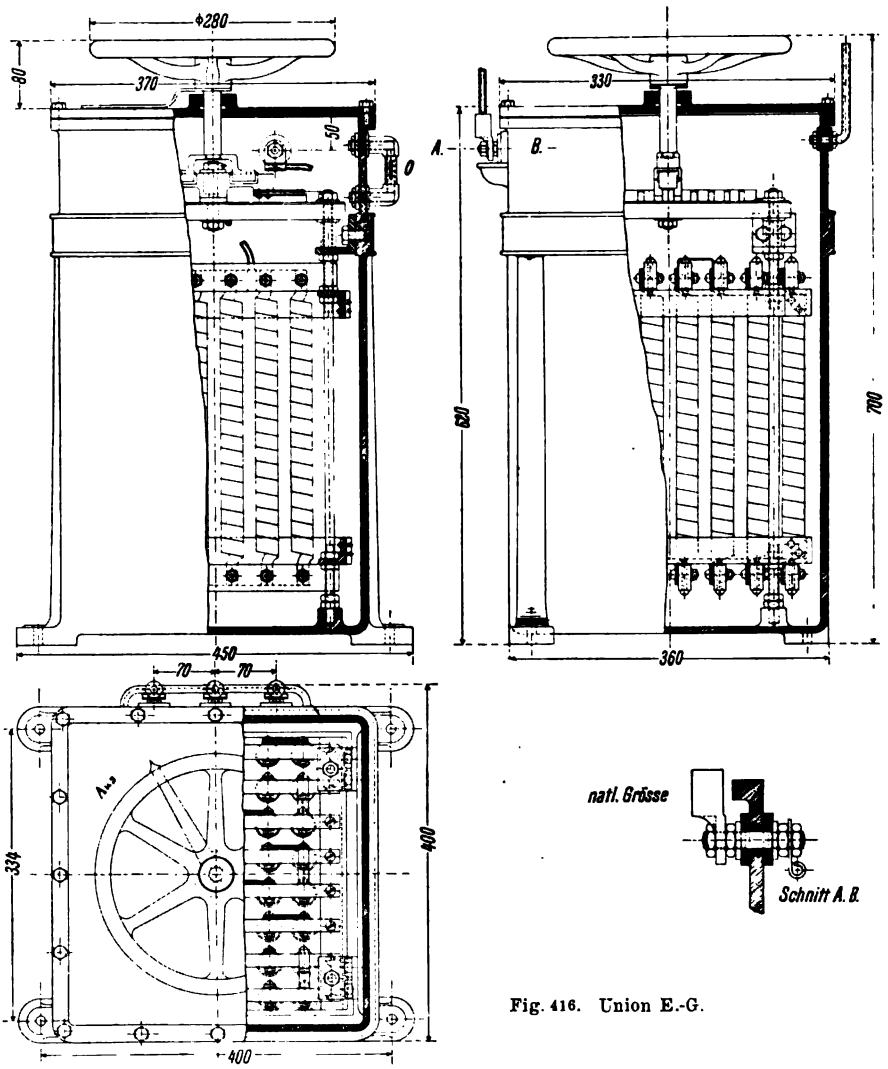


Fig. 416. Union E.-G.

man die in einem Widerstand vernichteten Watt, so berechnet sich die erforderliche Kühlflüssigkeit nach der in Bd. I, S. 216 gegebenen Formel 199:

$$A_v = X s_w s_g T' \cdot 4160 + T \frac{F}{C'}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (39)$$

A_v = mittlerer Wattverlust, X = Kühlflüssigkeit in dm^3 pro Sek., s_g = spez. Gewicht, s_w = spez. Wärme derselben, T' = Uebertemperatur

Digitized by Google

der abfließenden Kühlflüssigkeit, T = Uebertemperatur des Widerstandes, F = Oberfläche des Widerstandsgehäuses, C' siehe S. 279 unten.

Die höchst zulässige Oeltemperatur ist 80 bis 90°; die Abkühlung von Oelanlassern dauert 2 bis 10 Stunden, um so länger, je größer das Oelgefäß.

Es ist zu beachten, daß der Oelstand eines erwärmten Oelanlassers etwa 10 bis 20 mm höher ist als im kalten Zustand.

Der zeitliche Verlauf der Erwärmung und Abkühlung von nichtgekühlten Widerständen hat denselben Charakter wie bei Maschinen, siehe Bd. I, S. 202 und für aussetzenden Betrieb S. 220. Luftig gebaute Widerstände (Spiralen, ausgespannte Bänder) erreichen rasch ihre Endtemperatur T_e und kühlen sich auch rasch wieder ab, während eng zusammengebaute Paketwiderstände und Widerstände auf Porzellanröhren sich langsam erwärmen und für kurze Zeit eine große Energie absorbieren können, sie brauchen aber auch lange Zeit zur Abkühlung. Es ist nämlich in dem Ausdruck für die Erwärmung

$$T = T_e \left(1 - \varepsilon^{-\frac{t}{\tau}}\right), \quad \ldots \ldots \quad (40)$$

worin T die nach t Sekunden erreichte Temperatur, $\varepsilon = 2{,}71\ldots$ und

$$\tau = \frac{\text{spezifische Wärme } s_w \times \text{Gewicht des ganzen Widerstandes}}{\text{Wärmeabgabekoeffizient} \times \text{Oberfläche des Widerstandes}} \text{ ist}^1),$$

τ für Spiralwiderstände klein, für Packetwiderstände groß. Der Ausdruck für die Abkühlung ist

$$T = T_e \cdot \varepsilon^{-\frac{t}{\tau}} \ldots \ldots \ldots \quad (41)$$

Für luftige Spiralen kann man setzen $\tau = 200$ Sek., für ausgespannte Drähte gar nur 10 bis 50 Sek., für luftig auf Porzellanstücke gespannte Widerstände (Fig. 391) $\tau = 400$ Sek., für hohle Porzellanzylinder (Fig. 409) $\tau = 1000$ bis 2000 Sek., und für massive Porzellanzylinder $\tau = 2000$ bis 4000 Sek.[2]). In 2,3 τ Sek. hat der Widerstand bis auf 10 % seine Endtemperatur bei Erwärmung oder bei Abkühlung erreicht.

Der Zickzackwiderstand Fig. 413 der Russischen Union erreichte nach etwa 2 Stunden seine Endtemperatur $T_e = 160°$, wenn er während

[1]) Siehe S. 281, für einen Anlasser aus G_m kg Metall und G_0 kg Oel ist angenähert

$$\tau = \frac{4160\ Te}{A_v} \left\{ G_m \cdot 0{,}1 + G_o \cdot 0{,}4 \right\} \text{in Sek.} \quad \ldots \ldots \quad (42)$$

und in 4,6 τ Sek. hat der Widerstand T_e bis auf 1% erreicht.

[2]) Für Maschinen ergeben sich Werte von 10000 bis 30000.

Digitized by Google

dieser Zeit immer 20 Sek. eingeschaltet und dann 2 Minuten ausgeschaltet wurde. Der ölgekühlte Widerstand Fig. 416 wurde in der Stunde 30mal etwa 30 Sek. mit 50 PS belastet und erreichte nach 1 Stunde + 59°, nach 2 Stunden + 84°, nach etwa 3 Stunden war mit $T = 100°$ die Endtemperatur erreicht, τ ist etwa 4500.

Alle Widerstände sind auf ihre Isolation zu prüfen, zwischen dem Widerstand selbst und dem Gehäuse ist zu diesem Zweck eine Spannung von etwa 1000 Volt Wechselstrom anzulegen, bei Widerständen für mehr als 500 Volt etwa das Doppelte der Betriebsspannung. Der Isolationswiderstand sollte größer als 1 Megohm sein.

32. Flüssigkeitswiderstände[1]).

Es gibt zwei Typen von Flüssigkeitswiderständen; bei der einen Art hat man ein mit Flüssigkeit gefülltes Gefäß, in das man eine oder mehrere bewegliche Elektroden eintaucht. Im anderen Fall bleiben Gefäß und Elektroden feststehend und die Flüssigkeit wird allmählich aus einem Reservoir in das Gefäß eingelassen, den Raum zwischen Gefäßwänden und Elektroden ausfüllend; beim Abstellen wird die Flüssigkeit in gleicher Weise abgelassen[2]). Als Lösung wird für 110 Volt häufig Sodalösung benützt, mit 1/8 kg käuflicher Soda auf 1 l Wasser, bei 500 Volt in der Regel gewöhnliches Leitungs- oder Brunnenwasser, ohne jegliche Beimengung[3]); auch Kochsalz oder Schwefelsäure, bezw. andere Salze oder Säuren können beigemengt werden.

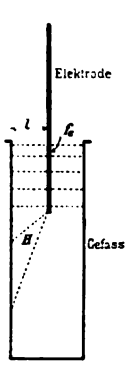


Fig. 417.

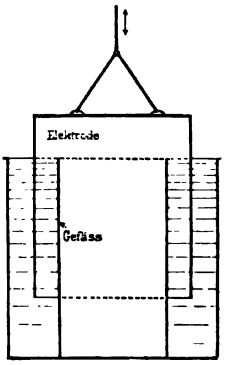


Fig. 418.

Ist nun die benetzte Elektrodenfläche (allseitig!) f_e in mm^2 und der lotrechte Abstand der Elektroden von den parallelen Gefäßflächen l in m, so ist der Widerstand in der betreffenden Stellung

$$w = c\, w_s \frac{l}{f_e} \text{ in Ohm.}$$

w_s ist der Widerstandskoeffizient, $c = 0{,}7$ bis 1 soll die Stromfäden H (Fig. 417)

[1]) Siehe Z. f. E. Wien, 17. Januar 1904.

[2]) Eine Reihe Flüssigkeitswiderstände sind in Niethammer, Hebezeuge S. 158 ff. und S. 173 ff. abgebildet. Siehe auch später unter Anlasser.

[3]) Siemens & Halske geben an, in 5 l Wasser sind zu lösen: 3/4 kg Soda für 110 Volt; 0,2 kg für 220 Volt bei 25 PS und 0,45 kg bei 150 PS; 0,06 kg Soda für 500 Volt bis 50 PS, 0,30 kg bis 100 PS und 0,50 kg für 150 PS. Für den Nebenschlußkreis schreibt dieselbe Firma einen funkenziehenden Kohlenschalter vor.

Digitized by Google

berücksichtigen, die außer denjenigen senkrecht zu den Elektrodenflächen noch nach den benetzten Gefäßflächen übergehen. Die komplizierten Strombahnen genauer zu berücksichtigen, hat wohl praktisch keinen Zweck. Genau genommen ist f_e der mittlere Querschnitt des Stromes in der Flüssigkeit (eventuell Mittel aus Ein- und Austrittsquerschnitt) und l die mittlere Weglänge. w_s hat bei 20 ° C. nach Landoldts Tabellen ungefähr folgende Werte:

Lösung	w_s	Bemerkungen
Soda 0,05%ig	10^7	½ g geglühte Soda pro 1 l Wasser, oder 1,0 g kristallisierte (üblich käufliche) Soda pro 1 l Wasser
Soda 5%ig	$2 \cdot 10^5$	Etwa 1/20 kg geglühte Soda pro 1 l Wasser, oder etwa 1/10 kg kristallisierte Soda
Soda 20%ig	$2 \cdot 10^2$	Etwa ¼ kg geglühte Soda pro 1 l Wasser, oder ½ kg kristallisierte Soda
Reines Wasser	10^{10}	
Kohlensäurehaltiges Wasser	$2 \cdot 10^8$	
5%ige Schwefelsäure . .	$5 \cdot 10^4$	
5%ige Kochsalzlösung . .	$1{,}5 \cdot 10^5$	50 g Kochsalz pro 1 l Wasser
5%ige Kupfervitriollösung	$5 \cdot 10^5$	

Direkte Messungen an einem Flüssigkeitsanlasser ergaben bei 1/8 kg gewöhnlicher Soda in 1 l Wasser $w_s = 3 \cdot 10^5$ und bei Brünner Leitungswasser $w_s = 3 \cdot 10^7$. w_s ist sehr stark von der Temperatur abhängig, mit steigender Temperatur wird w_s pro 1 ° C. um 1 bis 3 % kleiner. Meist wird man mit den Grenzwerten $w_s = 10^8$ (gewöhnliches Wasser) und anderseits $2 \cdot 10^5$ für 5%ige Soda- oder Kochsalzlösung und etwa $5 \cdot 10^4$ für verdünnte Schwefelsäure rechnen können.

Eine Reihe Messungen an einem Flüssigkeitsanlasser ergaben bei Wechselstrom wesentlich kleinere Werte[1]) von w_s (die Hälfte und weniger) als bei Gleichstrom, sofern der Widerstand einfach als Quotient von Spannung und Strom bestimmt wurde, d. h. $\cos \varphi = \sim 0{,}5$ (voreilend).

Nun ist noch die weitere Forderung der zulässigen Erwärmung zu berücksichtigen:

a) in allgemeiner Weise dadurch, daß man eine gewisse Stromdichte $i_s = \frac{J}{f_e}$ vorschreibt, etwa 0,5 bis 2 Amp./c² bei Dauereinschaltung und 2 bis 10 Amp./c² bei einmaliger rasch vorübergehender Benützung (Anlasser);

b) in genauer Weise durch die Beziehung: Wattverlust im Wider-

[1]) Wegen der beträchtlichen Kapazität (Messungen bei 50 Perioden).

Digitized by Google

stand × Zeit = absorbierte Wärme + ausgestrahlte Wärme + Verdampfungswärme

$$0{,}24 \int_0^{t_a} J E_w \cdot \cos\varphi \cdot dt = T s_w s_g X \cdot 1000 + c F \int_0^{t_a} T\, dt + r X_v s_g \cdot 1000, \quad (43)$$

worin J der Strom, E_w die Spannung am Widerstand[1]), t_a die Zeit in Sek., während welcher der Widerstand eingeschaltet ist, T die Uebertemperatur, s_w die spezifische Wärme der Flüssigkeit, s_g das spezifische Gewicht, X die Flüssigkeitsmenge in Liter, F die ausstrahlende Oberfläche des Widerstands und c der Wärmeabgabekoeffizient ist. r ist für Wasser bei 20° etwa 590, bei 100° etwa 540, X_v sind die verdunsteten Liter Wasser. Der Ausdruck $X_v s_g$ kommt nur in Frage, wenn der Widerstand bis auf etwa 100° erhitzt wird, dann bildet aber diese Verdampfungswärme eine riesige Absorptionsquelle für kurze Zeit, d. h. der Flüssigkeitswiderstand kann für kurze Zeit eine große Ueberlast ertragen, wenn dann für Flüssigkeitsersatz gesorgt wird.

Für kurze Einschaltedauer kommt nur die Absorption in Frage, für längere Benützung nur die Ausstrahlung. Angenähert kann man deshalb für Anlasser setzen ($s_w = 1$, $s_g = 1$, J mittlerer Anlaßstrom, E_k Klemmenspannung im zugehörigen Netz, E_w fällt während der Anlaßzeit t_a von E_k auf 0, oder im Mittel $E_w = \frac{E_k}{2}$):

$$0{,}24\ J \frac{E_k}{2} t_a = T \cdot X\ 1000.$$

Damit wird die erforderliche Flüssigkeitsmenge in Liter für Anlasser

$$X = \frac{0{,}24\ J \frac{E_k}{2}}{1000\ T} t_a. \quad (44)$$

[1]) φ Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung bei Wechselstrom hervorgerufen durch die Kapazität des Widerstandes; im Gegensatz zu Metallwiderständen schieben Flüssigkeitswiderstände den Strom vor. Die Kapazität C (pro Phase) ist ungefähr

$$C = 7 \frac{f_e}{l} 10^{-9} \text{ Farad} \quad (45)$$

für angesäuertes Wasser, f_e wie oben allseitige eintauchende Elektrodenfläche, l = Abstand der Elektroden von der Gefäßwand; je nach der Flüssigkeit ist 7 durch andere Werte zwischen 10 und 0,1 zu ersetzen. Der Strom im Flüssigkeitsanlasser ist

$$J = E_w : \sqrt{\frac{w^2}{1 + (2\pi n C w)^2}} \quad (46)$$

und

$$\operatorname{tg}\varphi = 2\pi n C w,$$

falls

$\varphi = \sphericalangle (J, E_w)$,

E_w = Spannung am Anlasser (pro Phase).

Digitized by Google

Kennt man die tatsächlichen im Widerstand vernichteten Watt $J E_w$, so ist $\frac{J E_k}{2}$ durch $J E_w$ zu ersetzen. Läßt man $T = 60°$ Uebertemperatur[1]) zu und rechnet man mit 2 Min. = 120 Sek. Anlaßzeit, so wird die erforderliche Flüssigkeitsmenge in Litern

$$X = 0{,}24 \frac{J E_k}{1000} = 1/4 \times \text{mittlere Anlaßkilowatt.} \quad . \quad (47)$$

Rechnet man als Anlaßstrom $1\frac{1}{2}$mal den normalen, so wird X in Litern

$$X = \sim 0{,}4 \times \text{normaler KW-Verbrauch des Motors} \quad . \quad (48)$$

oder auch

$$X = 0{,}5 \times \text{PS Leistung des Motors.}$$

Ist der Flüssigkeitswiderstand für Dauereinschaltung bestimmt oder wird er in rascher Folge längere Zeit hintereinander aus- und eingeschaltet, so gilt die Beziehung

$$T = C \frac{\text{totale Wattsekunden } A_s \text{ erzeugt im Widerstand : Betriebssekunden } t_s}{\text{ausstrahlende Oberfläche F in } c^2}$$

$$= C \frac{\text{mittlerer Wattverbrauch}}{F} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (49)$$

Als ausstrahlende Oberfläche benützt man zweckmäßig einfach die gesamte Außenfläche des Gefäßes[2]). Die mittleren Watt $\frac{A_s}{t_s}$ berechnet man folgendermaßen: t_1 Sek. werden A_1 Watt im Widerstand verzehrt, t_2 Sek. A_2 Watt, t_3 Sek. Stillstand, d. h. $A_3 = 0$, t_4 Sek. A_4 Watt etc., dann ist

$$\frac{A_s}{t_s} = \frac{A_1 t_1 + A_2 t_2 + A_4 t_4 + -}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + -} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (50)$$

C ist etwa 100 bis 200[3]). Wählt man z. B. ein Faß mit einer Höhe h gleich dem doppelten Durchmesser d in cm, so ist, falls man den Boden nicht als ausstrahlende Fläche zählt,

$$F = \pi \frac{d^2}{4} + \pi d \,.\, 2d = 7 d^2 \text{ in } cm^2$$

und die Flüssigkeitsmenge

$$X = \frac{\pi d^2}{4} \,.\, 2d \, \frac{1}{1000} = 1{,}5 \,.\, 10^{-3} d^3 \text{ in Liter,}$$

[1]) Bei $T = +80°$, also $80 + 20°$ tatsächlicher Flüssigkeitstemperatur kocht der Anlasser, was zu vermeiden ist.

[2]) Einschließlich Wasserspiegel.

[3]) Der Wert von C hängt sehr von der Ausführung ab, $C = 100$ bis 200 kann für Metallgefäße angenommen werden; für holzbeschlagene Gefäße dürfte C größer sein.

Digitized by Google

oder

$$F = 7 \left(\frac{X}{1{,}5 \,.\, 10^{-3}} \right)^{2/3}.$$

Schließlich wird bei einem mittleren Wattverbrauch A im Widerstand und $T = 60^0$ die erforderliche Flüssigkeitsmenge

$$X = \left[200 \, \frac{A}{7 \,.\, 60} \, (1{,}5 \,.\, 10^{-3})^{2/3} \right]^{3/2}$$

$$X = 2 \,.\, 10^{-3} \; A^{3/2} = 15 \; KW^{3/2} \,. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (51)$$

Bei $C = 100$ wird $X = 5 \,.\, KW^{3/2}$ oder allgemein $X = c \,.\, KW^{3/2}$.

In der Regel kommt man tatsächlich auf 10 bis 20 Liter Flüssigkeit pro KW für Dauereinschaltung.

Es gibt auch Fälle, die zwischen kurzer und dauernder Einschaltung liegen, obwohl 1/4 bis 1/2 Stunde Betriebszeit schon zu dauernder Einschaltung zu rechnen ist. Für diesen Zwischenfall kann man folgendermaßen vorgehen. Man setzt bei einem mittleren Wattverbrauch A im Widerstand während der Betriebszeit t_a

$$A \,.\, t_a = X \,.\, T \,.\, 4160 + T \,.\, \frac{F}{C} t_a \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (52)$$

und damit bei gegebenem Widerstand (X und F gewählt)

$$T = \frac{A}{4160 \, X / t_a + \frac{F}{C}} \,. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (53)$$

Hat man es mit einem Widerstand zu tun, zwischen dessen Elektroden eine Flüssigkeitsmenge von Q Liter pro Sek. dauernd fließt, d. h. dessen Elektrolyt fortwährend erneuert wird, so gilt bei einer Uebertemperatur von T^0 der abfließenden gegenüber der zufließenden Flüssigkeit

$$0{,}24 \; A = Q \, T \,.\, 1000, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (54)$$

wenn im Mittel A Watt vernichtet werden.

Aus den gemachten Erörterungen geht hervor, daß der Entwurf eines Flüssigkeitswiderstandes für kurze Einschaltdauer (Anlasser) anders sein soll als bei langandauernder Einschaltung. Für Anlasser ist großer Gefäßinhalt (X) bei kleiner Oberfläche (wegen des Preises) anzustreben, bei Dauereinschaltung dagegen große Oberfläche bei kleinem Inhalt, wofür sich vor allem stark gewellte Oberfläche oder die ringförmige Type Fig. 418 eignet. Für einen Anlasser mit zylindrischem Gefäß ist z. B. das günstigste Verhältnis[1]) von $d : h = \sim 2$ und $d = 1{,}36 \sqrt[3]{X}$. Soll ein Widerstand für Dauereinschaltung 10 KW bei $T = + 50^0$ ver-

[1]) Minimum der Oberfläche bei gegebenem Inhalt.

Digitized by Google

nichten, so sind dazu $F = 200 \frac{10000}{50} = 40000$ cm² Oberfläche erforderlich. Das kann man mit einem würfelförmigen Gefäß mit einer Seite = 82 cm erreichen, das 550 l faßt, oder mit einem Parallepiped mit der Grundfläche 120 × 120 cm und der Höhe 24 cm, das 350 l faßt, oder auch mit einem Parallepiped mit der Grundfläche 42 × 42 cm und der Höhe 210 cm, das 370 l faßt. Die Widerstandstype mit zu- und abströmender Flüssigkeit gestattet eine intensivere Kühlung als die mit stehender Flüssigkeit, sie benötigt aber auch wesentlich mehr Zubehör.

Die Gefäßdisposition hängt außer von der Erwärmung auch von der Spannung am Widerstand ab. Nach der oben gegebenen Beziehung muß

$$\frac{E_w}{J} = w = c w_s \frac{l}{f_e} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (55)$$

(E_w = Spannung am Widerstand) sein. Zusammen mit der Beziehung $T = C \frac{A}{F}$ sind damit die Gefäßdimensionen und die Lage der Elektroden für einen dauernd arbeitenden Widerstand im wesentlichen festgelegt, wenn auch viele Variationen möglich sind. Für Anlaßwiderstände mit allmählich eintauchender Elektrode ist zunächst der Widerstand sehr groß, bei einer gewissen Eintauchtiefe wird der erforderliche Anlaßstrom J_a, bei dem der Motor gerade anläuft, auftreten; man hält ihn an Hand des Amperemeters durch allmähliches Weitereintauchen mit wachsender Motortourenzahl konstant. In den ersten Augenblicken des Eintauchens und namentlich in den letzten Momenten des Abschaltens ist häufig die Stromdichte an den Elektrodenspitzen sehr hoch, was zu Feuererscheinungen führen kann, weshalb zweckmäßig die unterste Spitze mit asbestartigen Formstücken geschützt wird. Man sollte bestrebt sein, die Stromdichte schon anfangs, wenn der Motor gerade mit J_a Ampere anläuft, nicht über 5 Ampere pro cm² ansteigen zu lassen. Die dazu gehörige Elektrodenfläche f_e', die etwa $^1/_{10}$ bis $^1/_{20}$ der ganzen Elektrodenfläche f_e'' sein mag, sollte also sein

$$f_e' > \frac{J_a}{5} \text{ in cm}^2, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (56)$$

was durch geeignete Wahl von l in Formel 55 leicht zu erreichen ist. Durch entsprechend geformte, meist konisch zulaufende Formgebung der Elektroden erreicht man eine ganz allmähliche Verringerung des Widerstandes, der kurz vor dem metallischen Kurzschluß der Flüssigkeit auf weniger als den Motorwiderstand (Anker + Bürsten + Serienwicklung $= w_a + w_k + w_s$) sinken sollte, um einen starken Stromstoß beim Kurzschluß zu vermeiden, d. h. (f_e'' ganze eingetauchte Elektrodenfläche)

Digitized by Google

$$c\, w_s \frac{l}{f_e''} < (w_a + w_k + w_s), \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (57)$$

was am besten neben großer Fläche f_e'' durch schließliche Reduktion von l auf ein Minimum fast bis zur metallischen Berührung zwischen Elektrode und Gefäß erreicht wird. Dabei ist noch zu bedenken, daß durch Polarisation stets eine Gegen-EMK von einigen Volt vorhanden ist, die den letzten Stromstoß etwas erhöht.

Soll der Strom J_1 vor dem definitiven Kurzschluß des Widerstandes nur auf J_2 bei Kurzschluß wachsen, so muß sein

$$w_{min} = c\, w_s \frac{l}{f_e''} = (w_a + w_k + w_s)\left(\frac{J_2}{J_1} - 1\right), \quad . \quad (58)$$

wobei w_{min} der Widerstand der Flüssigkeit vor dem Kurzschluß ist. J_2/J_1 sei etwa 1,4 bis 2,0.

Die Größe von l läßt man selbstverständlich mit der Spannung zwischen Gefäß und Elektrode steigen, l sollte mindestens mehrmals größer sein als die zu der betreffenden Spannung gehörige Luftschlagweite, bezw. auch als der Abstand, der zur Aufrechterhaltung eines eingeleiteten Lichtbogens erforderlich ist. Dies gilt besonders für Hochspannungsbelastungswiderstände[1]). Hängt man z. B. zwei Eisenstangen von 10 mm im Abstande von 1 m in ein Wasserreservoir bei einer Eintauchtiefe = 1 m, so ist der Widerstand ungefähr

$$w = w_s \frac{l}{f_e} = 10^8 \frac{1}{\pi \,.\, 10 \,.\, 1000} = 3 \,.\, 10^3\ \Omega.$$

Bei 20 000 Volt kann man damit vernichten

$$\frac{E^2}{w} = \frac{20\,000^2}{3 \,.\, 10^3} = \sim 130 \text{ Kilowatt.}$$

Dabei wird man bereits eigenartige Entladungserscheinungen im und auf dem Wasser beobachten. Hat man fließendes Wasser wie in Wasserkraftanlagen zur Verfügung, so kann man diese Wärmemenge durch X-Liter pro Sekunde bei $T = +10^0$ abführen:

$$X = \frac{0{,}24 \,.\, 130\,000}{1000 \,.\, 10} = \sim 3 \text{ Liter pro Sek.} = 180 \text{ Liter pro Minute.}$$

Die konstruktive Durchbildung findet sich unter „Anlasser".

[1]) Siehe Niethammer, Praktikum Fig. 33.

Digitized by Google

VIII. Regulatoren.

Unter Regulatoren sollen Einrichtungen verstanden werden, welche gestatten, die Spannung von Maschinen und Leitungen zu ändern. Das kann allerdings auch mit Hilfe von Maschinen bewerkstelligt werden, diese sollen jedoch hier zunächst außer Betracht bleiben. Dann bleiben übrig

1. Erregerwiderstände,
2. Hauptstromwiderstände,
3. Zellenschalter für Akkumulatoren,
4. Stufenschalter für induktive Regulierwiderstände.

Diese sämtlichen Apparate können entweder von Hand oder selbsttätig bedient werden. Bei Bedienung von Hand sind an den betreffenden Apparaten Aufschriften anzubringen, die unzweideutig anzeigen, in welcher Richtung gedreht werden muß, um mehr oder weniger Spannung zu erzeugen.

33. Erregerwiderstände.

Die Bemessung der Nebenschlußregler für Gleichstrommaschinen[1]) hat nach folgenden Gesichtspunkten stattzufinden:

Man muß bei jeder beliebigen Belastung die gewünschte Klemmenspannung auf $\pm$ a%, z. B. auf $\pm$ ½ % genau einstellen können. Dies muß auch bei einem gewissen Tourenabfall, z. B. von 10 % und bei 25 bis 50 % Ueberlast noch möglich sein. Die erste Bedingung läßt sich durch Verwendung der Konstruktion Fig. 419 erfüllen. Man berechnet für eine Reihe Belastungsströme J die der gewünschten Klemmenspannung E entsprechenden Erregerströme J_n und ebenso für eine a% größere und kleinere Klemmenspannung E′ und E″. Nun zieht man zwischen den Kurven E′ und E″ parallel zu den beiden Achsen eine Zickzacklinie, dann sind oa, ob, oc..oh die auf den einzelnen Stufen erforder-

[1]) Siehe Bd. I, S. 95.

Digitized by Google

lichen Erregerströme, auch die Stufenzahl ergibt sich direkt. Die zu jeder Stufe gehörigen totalen Widerstände sind $\frac{E_k}{oa} - w_n$, $\frac{E_k}{ob} - w_n \ldots$, falls w_n der Widerstand der Feldwicklung ist. Da jedoch diese Methode wegen der veränderlichen Erwärmung der Feldwicklung und der unbekannten Veränderlichkeit der Tourenzahl nie zuverlässig sein kann,

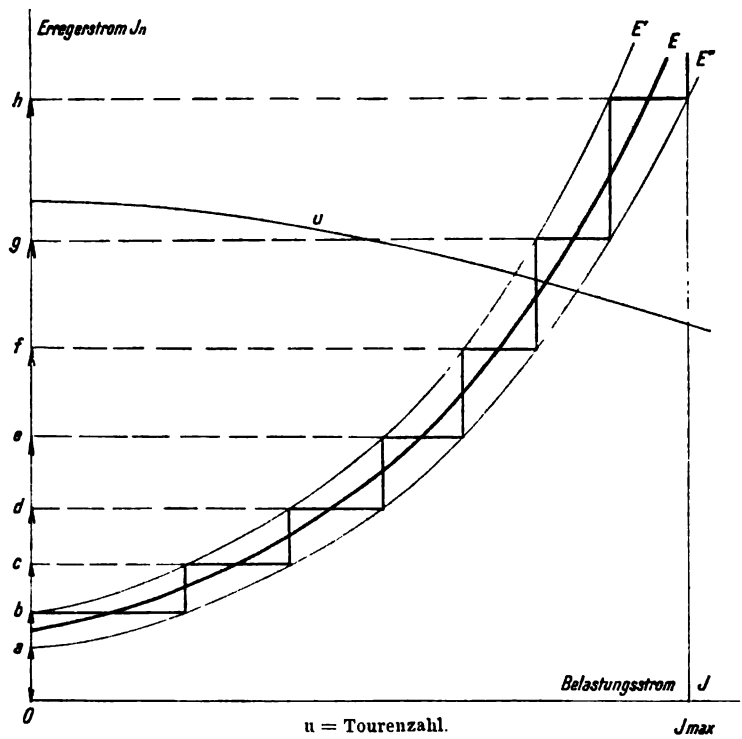


Fig. 419.

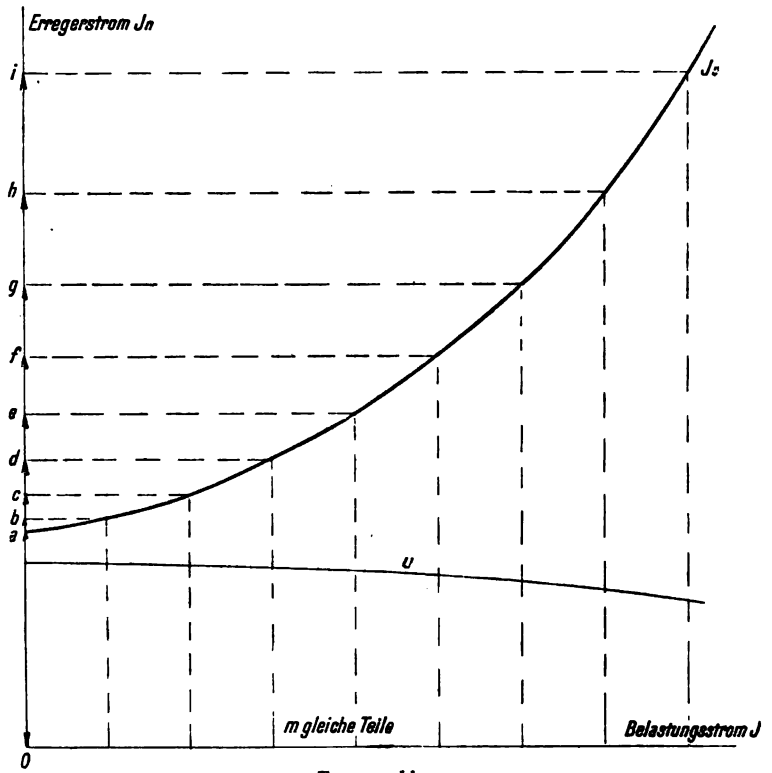
läßt sich die Abstufung auch einfacher aus Fig. 420 bestimmen, worin in Abhängigkeit des Belastungsstromes der für die Klemmenspannung erforderliche Erregerstrom eingezeichnet ist. Man teilt dann die Strecke von o bis zur größten Belastung nach Schätzung in eine größere Anzahl gleicher Teile, die der Stufenzahl entspricht, und findet als Ordinaten dazu die Erregerströme und damit auch die Widerstände zu den einzelnen Stufen. Es ist anzuraten, außerdem beiderseits noch einige Stufen zur Sicherheit einzufügen und zum allmählichen Ein- und Ausschalten des Erregerstroms zwei oder drei grobe Stufen vorzuschalten.

Die Zahl der Stufen liegt praktisch zwischen 50 und 150[1]). Die

[1]) Die General Electric Co. offeriert neuerdings Feldregler mit 70, dann mit 400 Stufen und schließlich eine Type mit einer ganz stetigen Abstufung.

Digitized by Google

Bemessung der einzelnen Stufenwiderstände erfolgt nach dem zugehörigen Erregerstrom und einer zu wählenden Stromdichte i_s. Allerdings kann die Stromdichte der letzten Stufen meist größer genommen werden, da die Gesamtwatt abnehmen. Sofern keine genauen Meßresultate von der Maschine vorliegen, zu welcher der Widerstand gehört, ist der letztere möglichst liberal auszulegen, da sich die magnetischen Verhältnisse nie



u = Tourenzahl.

Fig. 420.

ganz zuverlässig im voraus berechnen lassen. Regulatoren für Lademaschinen müssen außer der besprochenen Abstufung noch weitere Stufen haben, um die Spannung in geeigneter Weise herabdrücken und steigern zu können. Diese Stufen können aber wesentlich gröber sein. Es ist allerdings zu verlangen, daß die Stromänderung pro Stufe wegen der Funkenbildung eine gewisse Grenze nicht überschreitet, z. B. nicht größer als 10 bis 20% des vorhergehenden Wertes ist. Häufig wird auch verlangt, daß die Spannung pro Stufe, d. h. der Wert Strom $\times$ Widerstand zwischen zwei Kontakten einen gewissen Grenzwert, z. B. 20 bis 30 Volt, nicht überschreitet.

Digitized by Google

Seriendynamos zur Erzeugung von konstantem Strom J und variabler Spannung erhalten einen Widerstand parallel zur Erregerwicklung; ist die Tourenzahl u konstant, so gehört zu jeder Spannung E ein bestimmter Erregerstrom J_s; durch den parallelen Widerstand hat dann der Strom $J - J_s$ zu fließen. Hat die Erregerwicklung den Widerstand w_s, so bestimmt sich der Widerstand des Nebenschlusses jeweils zu $w_s \frac{J_s}{J - J_s} = w_n$.

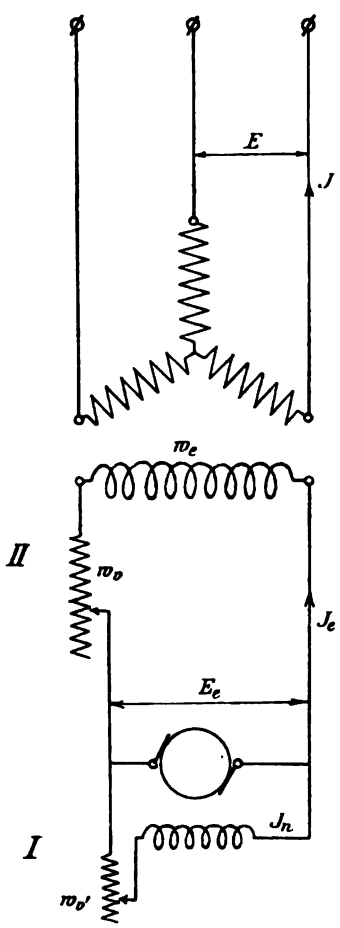


Fig. 421.

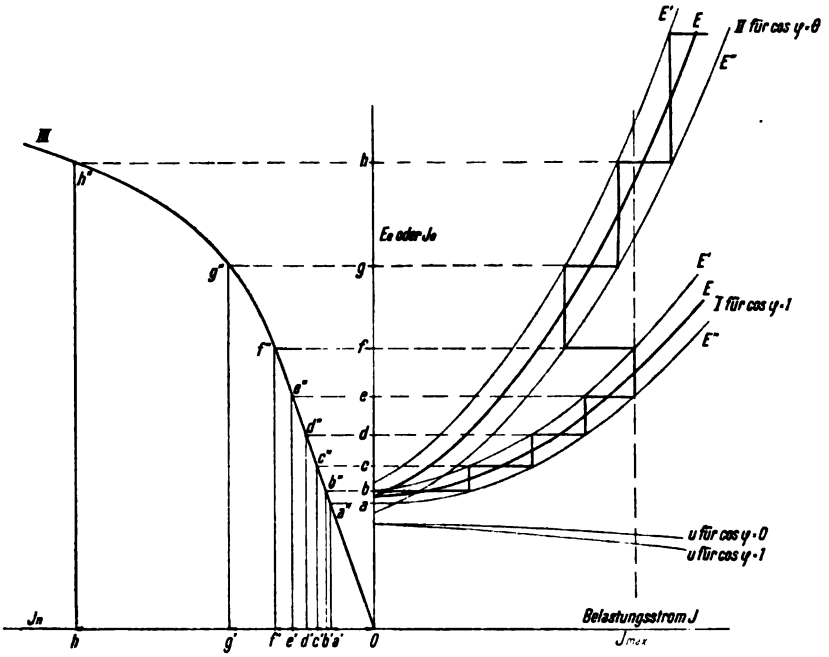
Die verschiedenen Werte von w_n bei variablem E vereinigt man zu einer Kurve in Abhängigkeit von E; dann teile man die Abszissen zwischen 0 und E entsprechend der Stufenzahl in eine bestimmte Zahl gleicher Teile und entnehme nun die einzelnen Widerstandswerte als Ordinaten.

Bei Wechsel- und Drehstromgeneratoren hat man zunächst zu unterscheiden, ob eine besondere Erregermaschine pro Generator vorhanden ist und ob diese Nebenschluß- oder Hauptstromwicklung besitzt, oder ob die Erregung von Sammelschienen mit konstanter Spannung entnommen wird.

Hat man einen besonderen, im Nebenschluß erregten Erreger, so wählt man meist zwei Regulierwiderstände (Fig. 421), einen (I) in der Erregerwicklung des Erregers und einen zweiten (II) im Erregerkreis des Generators. Zweckmäßig dient I zur groben Regulierung und II zur feinen, derart, daß sämtliche Stufen von II etwa zwischen eine Stufe von I passen. Es ist nun zu beachten, daß der Regulator sowohl bei Leerlauf als bei Volllast und $\cos \varphi = 1$ und 0 sowie bei allen zwischenliegenden Leistungsfaktoren für alle Belastungsfälle bis zu einer gewissen Ueberlast (z. B. 50%) und bei einem bestimmten Tourenabfall (z. B. 10%) die Spannung innerhalb $\pm$ a(½)% konstant halten muß. Dies geschieht durch eine Abstufung nach Fig. 422: Kurve I ist der Erregerstrom J_e (Fig. 421) für $\cos \varphi = 1$ und Kurve II für $\cos \varphi = 0$, je parallel dazu verlaufen Kurven für eine Klemmenspannung, die $\pm$ b (2—5)% von der normalen abweicht. Nun zeichnet man zunächst in die Kurve I die von Fig. 419 her bekannte Zickzacklinie, bis der als maximal

Digitized by Google

erachtete Belastungsstrom J_{max} erreicht ist. Die zugehörigen Ordinaten o a, o b ... sind die Erregerströme der einzelnen Stufen. Mit dem letzten o f geht man dann auf Kurve II über und setzt dort die Stufung fort, bis wieder J_{max} erreicht ist. Ist nun w_e der Erregerwiderstand im Drehstromgenerator und w_v der zunächst konstant gedachte Widerstand II, so ist für jede Stufe eine Erregerspannung $E_e = J_e \cdot (w_e + w_v)$ erforderlich. Der Maximalwert[1]) $(J_e)_{max} w_e$ entsprechend J_{max} bei $\cos\varphi = 0$ sei $(E_e)_{max}$, dann mache man w_v total etwa gleich $\frac{(E_e)_{max} \cdot 2b}{(J_e)_{max} \cdot 100} = \frac{2b}{100} w_e$ und



u = Tourenzahl.

Fig. 422.

dimensioniere w_v durchweg entsprechend $(J_e)_{max}$, obwohl er nur in der letzten Zwischenstufe so hoch beansprucht wird. Den totalen Widerstand w_v zerlegt man am einfachsten in m (20—100) gleiche Teile.

Nun erfolgt die Dimensionierung des Erregers und seines Reglers I. Man nehme an, w_v (II), d. h. w_{vt}, sei immer total vorgeschaltet, dann muß der Erreger jeweils eine Klemmenspannung $E_e = J_e (w_e + w_{vt})$ besitzen. Durch einfache Aenderung des Ordinatenmaßstabs im bekannten Verhältnis $1 : (w_e + w_{vt})$ bedeuten nun o a, o b ... auch die Werte der Er-

[1]) $(J_e)_{max}$ = o h in Fig. 422.

Digitized by Google

regerspannungen E_e auf den einzelnen Stufen. Ueber E_e zeichnet man sich nun [1]) die zu E_e bei J_e gehörigen Nebenschlußströme J_n (Fig. 421 und Kurve III Fig. 422) und findet sofort auch die Abstufung derselben, sowie aus den einzelnen J_n die zugehörigen Werte von $w_v' = (E_e : J_n) - w_n$, falls w_n der Widerstand der Erregerwicklung ist.

Die Erregerwiderstände sind möglichst zu normalisieren. Man sollte bestrebt sein, alle praktischen Fälle z. B. mit etwa fünf verschiedenen Kontaktplatten und Widerstandskästen zu decken. Die Größe der Widerstände total und pro Stufe kann von Fall zu Fall geändert werden; aber auch das sollte nicht willkürlich geschehen. Man kann z. B. festlegen

½	Ampere . . .	4000	2000	1000	500	—	Ohm,
1	„ . . .	2000	1500	1000	500	300	„
1,5	„ . . .	2000	1500	1000	500	300	„
:		:	:	:	:	:	
20	„ . . .	100	70	50	30	15	„

34. Hauptstromwiderstände.

Hauptstromwiderstände, die man allerdings häufig durch Zusatzmaschinen oder geeignete Zellenanschlüsse an Akkumulatoren ersetzen kann, kommen in Frage:

1. Um die Spannung nahe bei der Zentrale gelegener Speisepunkte auf den Wert der übrigen Speisepunkte zu erniedrigen;
2. um bei großem Spannungsabfall in den Speiseleitungen diesen Abfall bei allen Belastungen konstant zu halten;
3. um von Sammelschienen mit variabler Klemmenspannung, z. B. solchen, die Akkumulatoren oder elektrolytische Apparate speisen, Stromverbraucher mit konstanter Spannung zu versehen.

Alle Hauptstromwiderstände sind unwirtschaftlich und bei gegebenem Widerstand hängt der Abfall jeweils von der Stromstärke ab. Für den Fall 2 ist der Widerstand bei vollem Strom 0; bei der Hälfte des vollen Stroms ist der Widerstand = dem Gesamtwiderstand des Speisers, bei ¼ des vollen Stroms = dem dreifachen u. s. f.

Im dritten Fall schwankt die Sammelschienenspannung E nach oben, von E_{min} nach E_{max}, und zwar meist um 0—50 % der Spannung $E_v = E_{min}$ der Stromverbraucher, von denen man den maximalen und

[1]) Es ist zu beachten, daß Kurve III den Erregerstrom für die variable Belastung mit J_e bei konstanter Spannung E_e darstellt.

Digitized by Google

minimalen Strom J_{max} und J_{min} kennen muß. Der größte Widerstand ist dann

$$w_{max} = \frac{E_{max} - E_v}{J_{min}}$$

und der kleinste ist Null.

w_{max} hat man so zu unterteilen, daß in allen Fällen die konstante Spannung E_v auf einen bestimmten Prozentsatz ($\pm \alpha$ %) genau erreicht wird [1]).

Die Berechnung von Hauptstromwiderständen nach Fall 2, d. h. von sogen. Feederregulatoren, findet sich in E.T.Z. 1902, S. 293 und 1900, S. 285. Ist e der Spannungsunterschied zwischen Anfang und Ende am Speiser bei Volllast, J_{max} der größte, J_{min} der geringste Strom, e_x die zulässige Spannungsschwankung und $q = \frac{e}{e_x}$, so ist die Stufenzahl

$$m = \log_{nat} \frac{J_{max}}{J_{min}} - \log_{nat}\left(1 + \frac{1}{q}\right) \quad . \quad . \quad . \quad (59)$$

und der Widerstand auf der beliebigen y^{ten} Stufe

$$w_y = \frac{e}{J_{max}} \left(\frac{q+1}{q}\right)^{y-1} \cdot \frac{1}{q}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (60)$$

Für Nickelin ist bei einem Drahtdurchmesser von d mm der zulässige Strom

$$J = \sqrt{\frac{T\,d^4}{(10\,d + 18)\,0{,}42}}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (61)$$

falls $T = \backsim 100^0$ die Uebertemperatur des Widerstandes ist.

In die Netzleitungen von Induktionsmotoren kann man selbsttätig verstellbare Hauptstromwiderstände oder besser Einspulentransformatoren legen, welche die Motorspannung entsprechend der Belastung ändern, d. h. sie regeln bei kleiner Belastung auf niedrige Motorspannung ein und umgekehrt.

35. Motorregler.

Für Motoren benützt man Nebenschluß- und Hauptstromwiderstände zur Variation der Tourenzahl. Die Bestimmung der Abstufung von

[1]) Dies kann z. B. dadurch erreicht werden, daß man $w_{max} - w_1$ in $\frac{E_{max} - E_v}{2\alpha/100 \,.\, E_v}$ gleiche Teile teilt, wobei $w_1 = \frac{E_{max} - E_v}{J_{max}}$, dann setze $w_1 J_{min} = E_1 - E_v$ und teile $w_1 - w_2$ in $\frac{E_1 - E_v}{2\alpha/100 \,.\, E_v}$ gleiche Teile, wenn $w_2 = \frac{E_1 - E_v}{J_{max}}$ u. s. f., bis $E_m - E_v = \backsim \frac{\alpha}{100} E_v$.

Digitized by Google

Nebenschlußwiderständen zum Tourenregeln geschieht an Hand der Kurven Fig. 423, worin nach der angenäherten Beziehung [1])

$$K = \frac{E_k \cdot 60 \cdot 10^8}{u\,Z} \cdot \frac{a}{p} = \frac{C}{u} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (62)$$

zunächst der zu jeder Tourenzahl u gehörige Magnetflux K und aus der Leerlaufcharakteristik J_n/K der Nebenschlußstrom J_n in Abhängigkeit der Tourenzahl u dargestellt ist. Zu J_n gehört jeweilig ein bestimmter gesamter Nebenschlußwiderstand und damit auch ein bestimmter Vorschaltwiderstand. Man teilt nun wieder die Abszissenachse, d. h. die Tourenachse entsprechend der gewählten Stufenzahl entweder in m gleiche

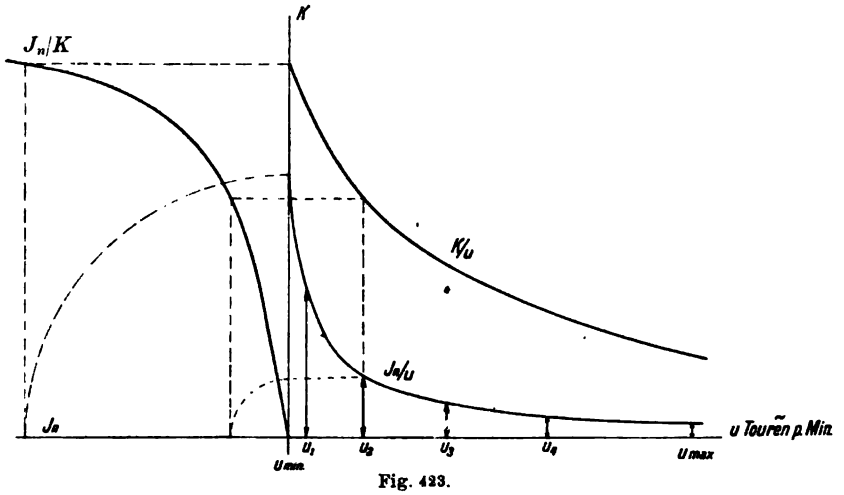


Fig. 423.

Teile oder aber in m nach einer geometrischen Progression wachsende Teile und erhält als Ordinaten die Erregerströme J_n und damit als [2]) $w_v = \frac{E_k}{J_n} - w_n$ die Widerstände der einzelnen Stufen. Teilt man in gleiche Teile, so ist die Tourenänderung $u_1 - u_{min}$, $u_2 - u_1$ ... durchweg dieselbe, bei geometrischer Einteilung zwischen u_{min} und u_{max} ist dagegen die prozentuelle Tourenzunahme $\frac{u_1}{u_{min}}$, $\frac{u_2}{u_1}$ ... durchweg konstant. Die geometrische Teilung geschieht direkt auf dem Rechenschieber dadurch, daß das Intervall zwischen u_{min} und u_{max} in m gleiche Teile geteilt wird. Nur wenn u_{min} und u_{max} nahe beisammen liegen, unterteile man u gleichmäßig, sonst geometrisch.

In ähnlicher Weise bestimmt man auch die Abstufung von Widerständen w_w, die parallel zur Erregerwicklung von Serienmotoren liegen

[1]) Siehe Bd. I, S. 28.

[2]) w_n = Widerstand der Erregerwicklung.

Digitized by Google

(Fig. 424). Dabei ist J_n der in der Serienwicklung fließende Strom und $J_n w_n = J \frac{w_n \cdot w_w}{w_n + w_w}$ (siehe Fig. 424). Aus J_n, J und w_n bestimmt sich für jede Tourenzahl und jeden Strom der Wert des Regulierwiderstandes w_w. Derselbe hängt also auch von der Belastung ab, was beim Nebenschlußmotor nicht der Fall war. Man stufe nun zunächst zwischen u_{min} und u_{max} für den Volllaststrom und dann eventuell für halbe Last gesondert ab.

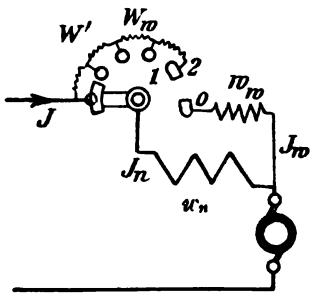


Fig. 424.

Für die Ermittlung[1]) der Ankervorschaltwiderstände von Gleichstrommotoren oder der Rotorwiderstände W von Drehstrommotoren gilt angenähert

$$\frac{E - JW}{E} = \frac{u}{u_0}, \quad \ldots \ldots \quad (63)$$

falls E die Klemmenspannung des Gleichstrommotors oder die offene Rotorspannung des Drehstrommotors bei Stillstand ist, J = Anker- bezw. Rotorstrom, u_0 = volle Tourenzahl beim Strom J und W = 0 bezw. synchrone Tourenzahl, u = Tourenzahl beim Vorschaltwiderstand W; also

$$W = \left(1 + \frac{u}{u_0}\right) \frac{E}{J}. \quad \ldots \ldots \quad (64)$$

Bei Serienmotoren gilt diese Beziehung nur solange J annähernd konstant ist, da der Magnetflux sich mit J ändert; sonst ist allgemein

$$E - JW = \left(\frac{Zp}{a \cdot 60 \cdot 10^8}\right) \cdot uK = c \cdot uK, \quad \ldots \quad (65)$$

falls der Flux K zum Strom J gehört und W der totale Widerstand des Ankerkreises inkl. Serienwicklung ist.

36. Konstruktion der Widerstandsregler.

Die Kontakte, deren Konstruktion unter „Anlasser" noch ausführlicher besprochen wird, bestehen gewöhnlich aus runden oder trapezförmigen Messingklötzen, die auf einer Schieferplatte mittels Schrauben und Stiften befestigt sind. Als bewegliche Kontakte benützt man flache Messingfedern für kleine Stromstärken, sowie lamellierte Kupferbürsten, die aus einer großen Zahl dünner Bleche bestehen (siehe bei Schaltern und Anlassern). Hin und wieder findet man auch Plungerkolben für

[1]) Siehe Bd. I unter Gleichstrommotoren und Bd. II unter Drehstrommotoren.

Digitized by Google

die beweglichen Kontakte, die zur Funkenentziehung bei grober Abstufung und für die Schlußunterbrechung auch parallel zu den Hauptkontakten aus Metall empfehlenswert sind. Der Kontakt der A. E.-G. (Fig. 424a) besteht aus Messingklötzen, die an langen federnden Messingstreifen befestigt sind. Die Stromdichten in den Metallteilen sind wie bei den Schaltern 1 bis 2 Ampere pro qmm, in den Kontaktflächen

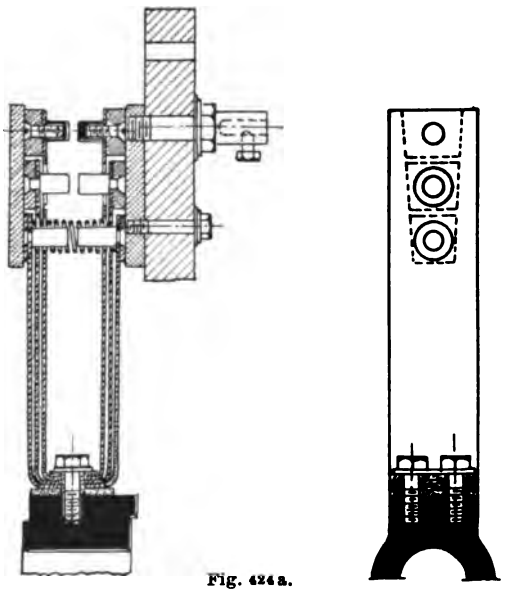


Fig. 424a.

$\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{4}$ Ampere. Kontakte, die nur vorübergehend eingeschaltet sind, können 2- bis 5mal stärker beansprucht werden.

Erregerkreise sollten entweder gar nicht unterbrochen werden oder nur langsam, z. B. mit Hilfe eines lichtbogenziehenden Kohlenschalters, da sonst Spannungen entstehen, welche die normale weit übertreffen. Andere Konstrukteure ziehen es vor, den Erregerstrom vor der Unterbrechung durch Vorschalten eines großen Widerstandes bis auf ein Minimum zu reduzieren. Häufiger findet sich jedoch das Verfahren, daß der Erregerkreis vor dem Abschalten auf einen induktionsfreien Widerstand, z. B. auf Glühlampen oder auf den Anker der Maschine oder auch auf einen Kondensator, geschlossen wird. In diesem Stromkreis kann dann der Extrastrom verlaufen, siehe Fig. 199 u. 200. Der Funkenlöschwiderstand sollte, um genügend zu wirken, kleiner als das fünffache des Feldwiderstands sein. Die im Feld eines Generators aufgespeicherte Energie ist nach Kapp etwa $4\,V\left(\frac{B_l}{1000}\right)^2$ Wattsekunden, falls B_l die Luftinduktion und V = Polschuhquerschnitt $\times$ Polzahl $\times$ Luftspalt in cdm ist.

Digitized by Google

Klöckner in Köln wählt für seine Nebenschlußwiderstände folgende Stufenzahlen:

Watt	150	300	1200	4000	$9000 = J_n^2 w_v$
Stufenzahl	8 u. 16	9, 13, 18 u. 26	18, 26, 36 u. 52	26 u. 52	10, 14, 20 u. 26

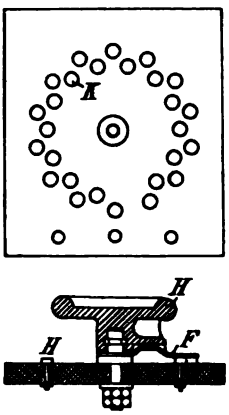


Fig. 425.

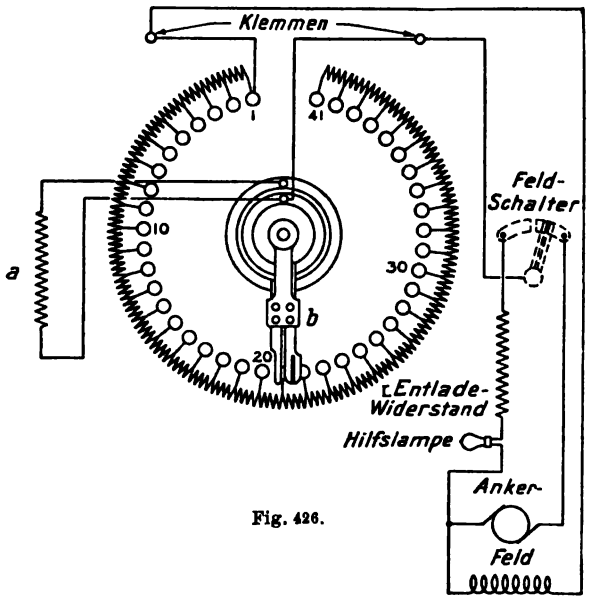


Fig. 426.

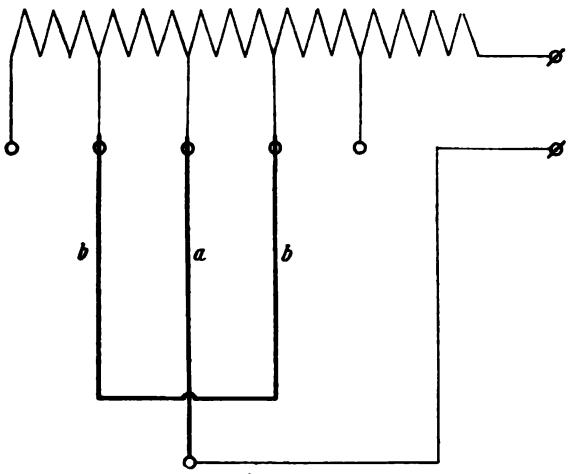


Fig. 427.

Es gibt nun verschiedene Hilfsmittel, um die Zahl der Abstufungen zu erhöhen, ohne die Kontaktplatte ins Ungemessene vergrößern zu müssen. In Fig. 425 sind z. B. zwei Reihen Kontakte ineinander geschoben. In Fig. 426 der General Electric Co. wird mittels des

Digitized by Google

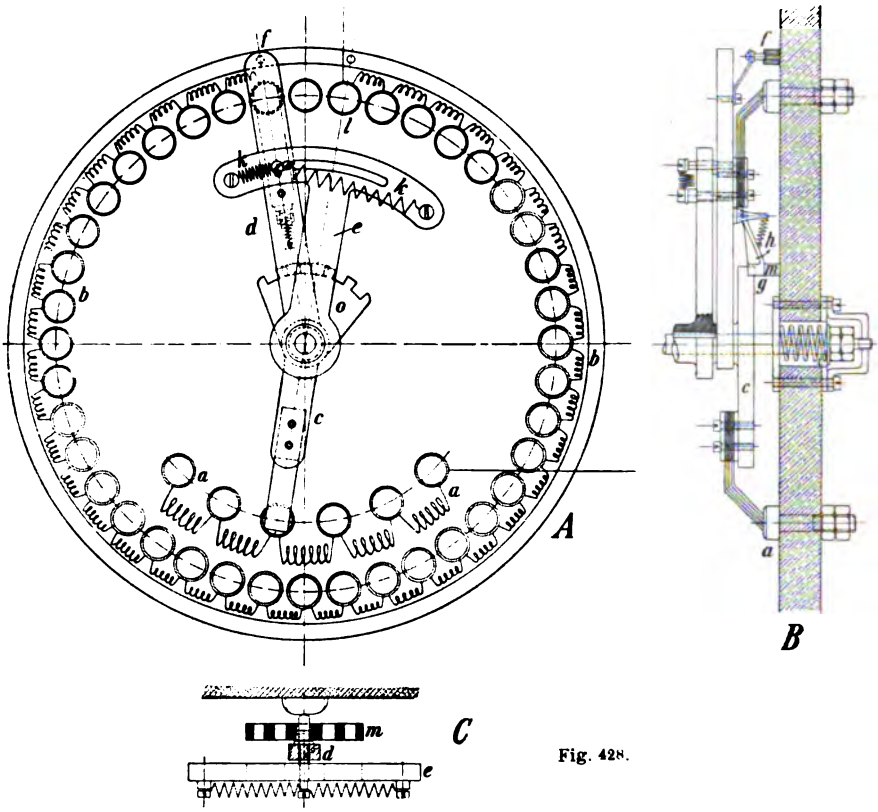


Fig. 428.

besonders geformten Kontakthebels b abwechselnd zu jeder Stufe der Vervielfältigungswiderstand a parallel geschaltet, wodurch die Stufenzahl von 40 auf 80 gebracht wird. Der Kontakthebel kann auch nach Fig. 427 derart ausgebildet sein, daß in gewissen Stellungen zwei Stufen parallel liegen, in anderen nicht (b b verlassen ihren Kontakt, während a auf dem mittleren bleibt). Die ausgiebigste Lösung besteht jedoch in Verwendung zweier Kontaktreihen mit zwei Kontakthebeln; der Kontakthebel der einen Reihe bewegt sich immer nur um eine Stufe weiter, wenn der andere Hebel eine volle Umdrehung gemacht hat. Es wird also ein stark abgestufter Widerstand zwischen jede einzelne Stufe eines anderen grob abgestuften Widerstandes geschaltet [1]). Die

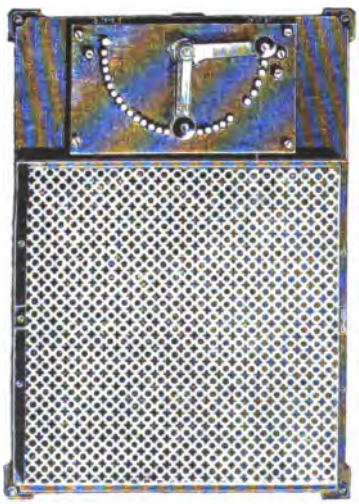


Fig. 429.

[1]) Siehe z. B. Niethammer, Hebezeuge Fig. 261.

Digitized by Google

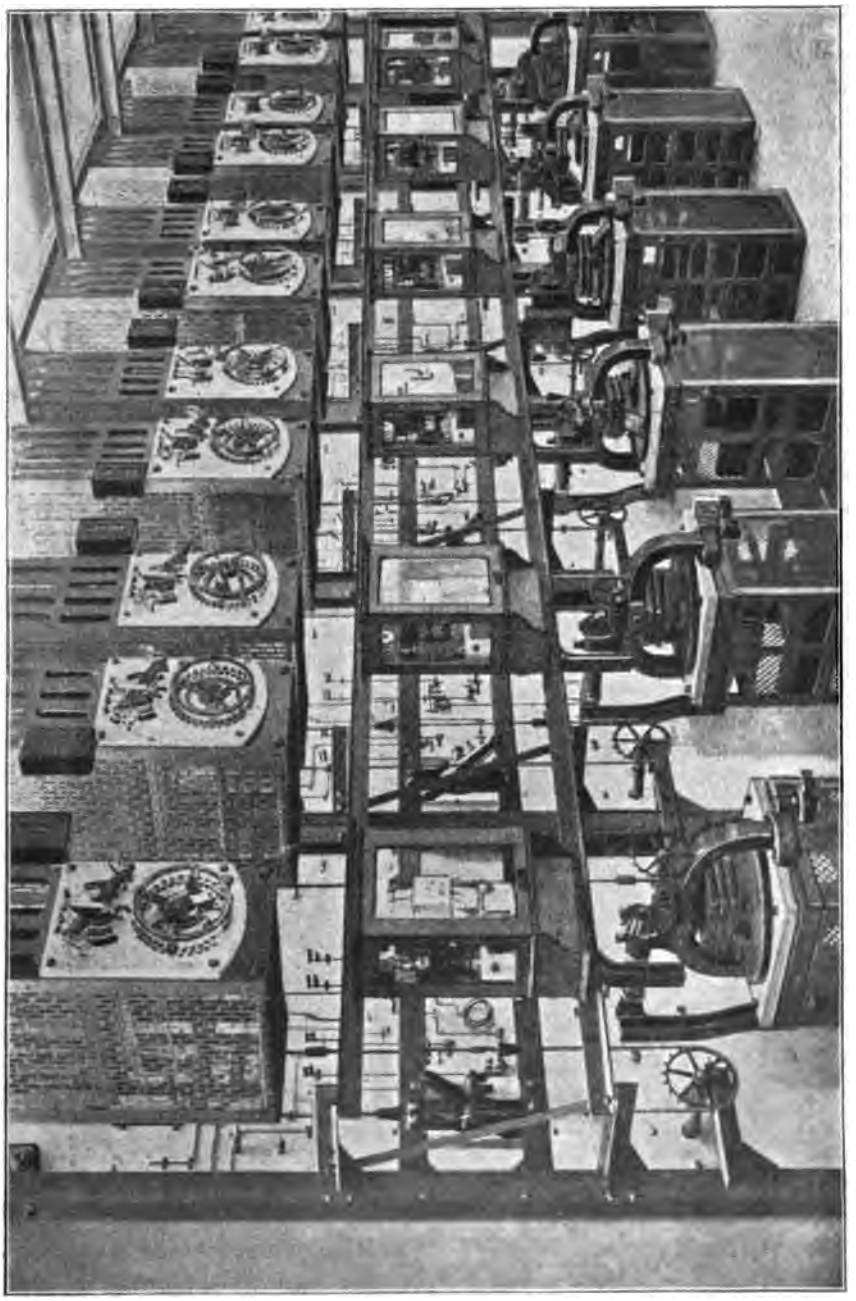


Fig. 430. Lahmeyer-Frankfurt.

konstruktive Durchbildung einer solchen Anordnung ist aus Fig. 428 zu entnehmen: a sind die groben Stufen, b die feinen; der Hebel c springt nach jeder Umdrehung des Hebels d um einen Kontakt weiter, und zwar

Digitized by Google

geschieht dies in der Endstellung folgendermaßen: Der auf der Achse feste Hebel e dreht sich zunächst, ohne den Hebel d mitzunehmen, er spannt nur die Federn k. Nach einer gewissen Drehung springt nun d aus der Sperrung f heraus und schnappt nach l hinüber. Inzwischen ist auch zwischen Arm d und c durch die Klinke g, die auf m aufläuft, und das Zahnsegment o eine mechanische Verbindung hergestellt und Arm c schnappt gleichzeitig mit.

Wesentlich einfacher ist die Konstruktion Fig. 429 von Schuckert; es sind einfach zwei Schalthebel vorgesehen, einer für die grobe und ein zweiter für die feine Regelung.

Die Regulierwiderstände werden entweder als Ganzes vor die Schalttafeln montiert, was nur für kleine Apparate möglich ist, oder aber man setzt den ganzen Regulator hinter das Schaltbrett oder auch unter oder über dasselbe und schaltet ihn mit Hilfe einer Zahnrad- (Fig. 430) oder

Fig. 432.

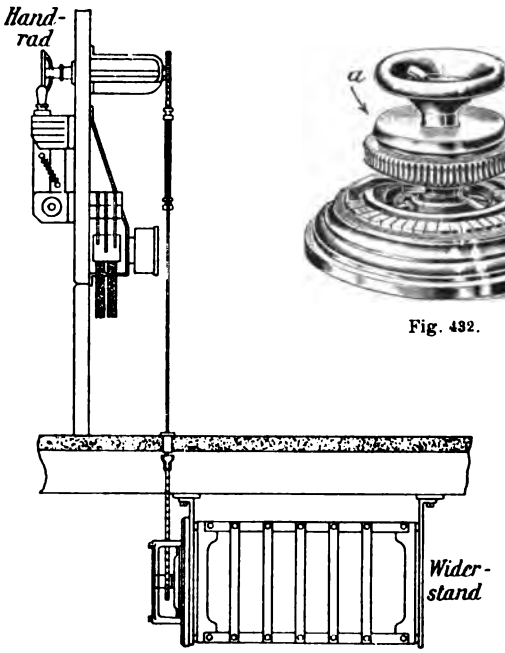


Fig. 431.

einer Kettenübersetzung (Fig. 431). Schließlich kann man auch die Kontaktplatte für sich vor der Schalttafel montieren (Fig. 432) und die Widerstände beliebig hinter der Schalttafel; es ist aber in diesem Fall eine große Anzahl von Leitungen von der Schalttafel zum Widerstand erforderlich. Eine verfehlte Konstruktion ist jedenfalls die direkte Montage der Kontakte auf den großen Platten der Schalttafeln.

Regulatoren zur Betätigung mehrerer parallel laufender Maschinen

Digitized by Google

werden gewöhnlich durch eine Schneckenübertragung nach Fig. 103 gemeinsam reguliert. Es ist jedoch stets an jedem Regulator nach Fig. 432 eine lösbare Reibungskupplung anzubringen, so daß auch jeder einzelne Regulator für sich betätigt werden kann.

Der Nebenschlußregler Fig. 433 der Maschinenfabrik Oerlikon wird direkt hinter die Schaltwand gestellt; der gradlinig bewegte Kontaktschlitten wird durch eine Schraubenspindel geführt. Die Stufen für

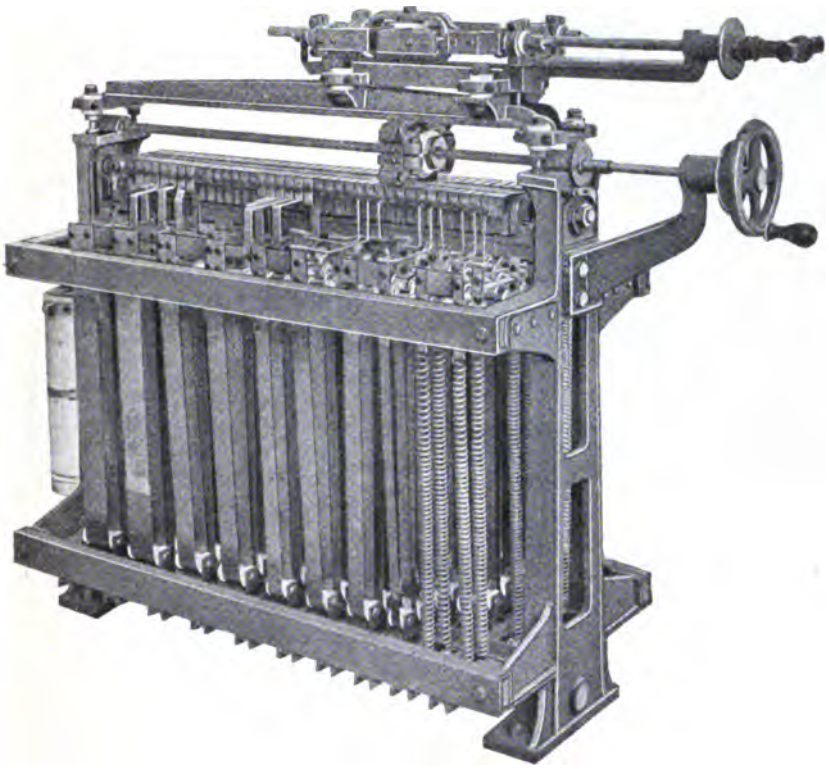


Fig. 433. Maschinenfabrik Oerlikon.

geringen Strom bestehen aus Röhrenwiderständen, die übrigen aus Band. Obenauf sitzt ein Nebenschlußkohlenausschalter.

In großen Zentralen findet man neuerdings häufig Nebenschlußregulatoren mit elektrischem Antrieb, z. B. nach Fig. 434 von Schuckert. Der Regulator kann dann in der Nähe des zugehörigen Generators montiert und von der Schalttafel aus bedient werden. In Fig. 434 sind unten zwei Relais a ersichtlich, welche bei zu hoher und zu niedriger Spannung die Bürsten des Hilfsmotors m im einen oder anderen Sinn auflegen, worauf die Regulierung beginnt.

Da der Regulierwiderstand von Nebenschlußmotoren für eine extreme

Digitized by Google

Feldschwächung enorme Werte annimmt, wenn er in Serie zu den Magnetspulen geschaltet werden muß, so wird nach dem Schema Fig. 435 von Helios von einer bestimmten Stellung des Regulators an nicht mehr der in Serie zu den Spulen geschaltete Widerstand vermehrt, sondern ein regulierbarer Widerstand als Nebenschluß

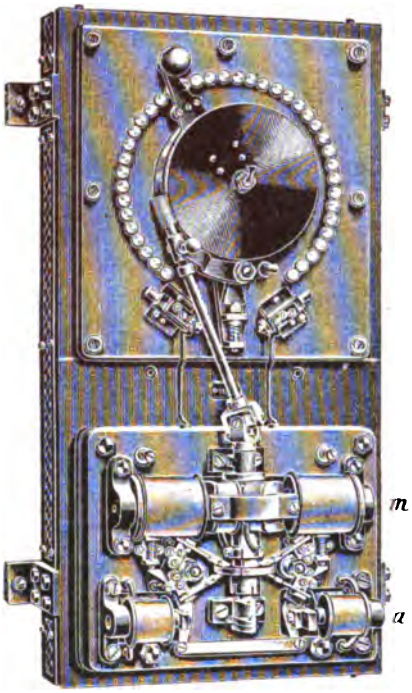


Fig. 434.

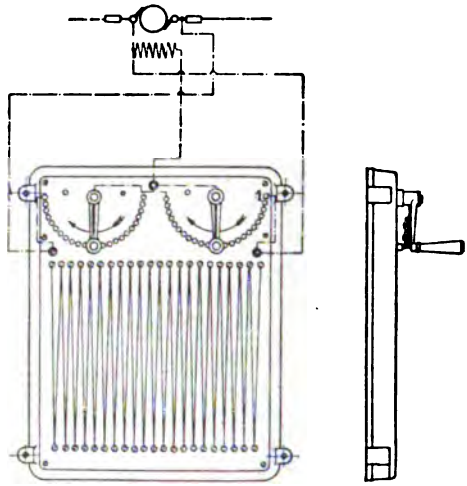


Fig. 435. Helios.

parallel zu den Spulen geschaltet, so daß mit Verminderung dieses Widerstandes der Strom in den Spulen vermindert wird.

37. Selbsttätige Regulierwiderstände.

Selbsttätige Regulatoren haben die Regulierung des Nebenschlußwiderstandes mit Hilfe eines Spannungsrelais so auszuführen, daß die Spannung oder bei Motoren die Geschwindigkeit dauernd konstant bleibt. Die Regulatoren können direkt oder indirekt wirkend sein. Im ersten Fall verändert das Relais selbst direkt den Widerstand; im zweiten löst es nur eine anderweitig vorhandene Kraft aus. Die letzte Methode ist die empfehlenswertere. Die selbsttätigen Regulatoren sollten eigentlich momentan wirken, so daß überhaupt keine nennenswerte Spannungsänderung zu Tage tritt, anderseits dürfen sie aber auch nicht zu empfindlich sein, da sie sonst zum unsteten Pendeln neigen. Die Empfindlichkeit des Relais sollte nicht höher sein, als der Spannungsänderung einer Widerstandsstufe entspricht. Der raschen Betätigung halber ist es auch

Digitized by Google

besser, das Relais von der Ursache der Spannungsänderung, nämlich von dem Strom betätigen zu lassen, wobei allerdings für Wechselstrom die Schwierigkeit der Berücksichtigung der Phasenverschiebung hinzukommt.

Einer der ältesten direkt wirkenden Regulatoren ist der Quecksilberapparat Fig. 436, wie er von Ganz & Co., Voigt & Häffner und anderen gebaut wird: Innerhalb einer Spule, die von der Klemmenspannung (S_2) und vom Hauptstrom (S_1) differentiell erregt wird, bewegt sich, durch einen Puffer gedämpft, ein Eisenkern, an dessen Ende ein Quecksilbertopf sitzt. In diesen taucht eine große Anzahl Stifte, welche mit den einzelnen Stufen des Regulierwiderstandes verbunden sind.

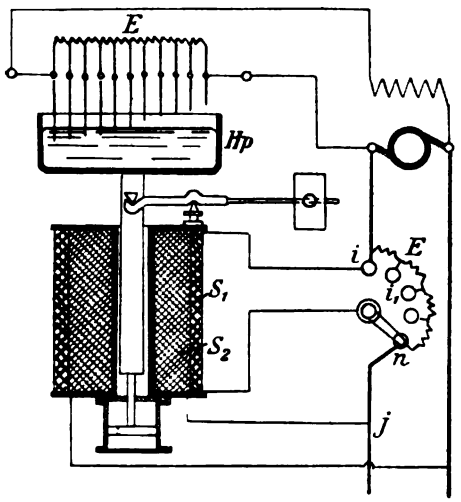


Fig. 436.

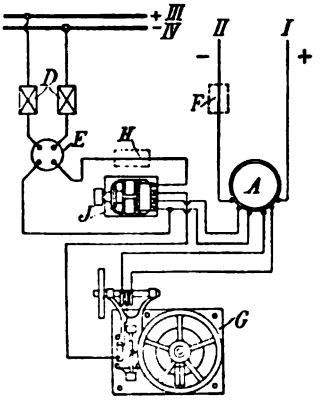


Fig. 437.

Die sehr sinnreiche selbsttätige Einstellvorrichtung von Siemens & Halske, die für alle Arten Widerstände, für Batterien und Transformatoren mit abschaltbaren Spulen verwendet werden kann, zeigt Fig. 437 u. 438. A ist in Fig. 437 der Steuerapparat, der als Gleich- oder Wechselstromrelais ausgebildet ist, welches die Vorwärts- oder Rückwärtsklinke des Schaltwerks G betätigt, das in Fig. 439 besonders abgebildet ist. Dieses Schaltrelais A hat nach Fig. 438 oben eine derartige Einrichtung, daß es bei eingeleiteter Regulierung den Hilfskreis, der das Schalten besorgt, nicht unterbricht, auch wenn die Spannung sich während der Regulierung plötzlich stark ändert, d. h. ein angefangener Regulierprozeß wird unbedingt zu Ende geführt. Es wird nämlich der Relaisarm a (Fig. 438) durch Spule 4, die an der konstant zu haltenden Spannung A liegt, nach links oder rechts bewegt; bei Stromschluß wird er aber durch die Spulen 5c oder 5d elektromagnetisch festgehalten. Die Bezeichnungen der Fig. 438 sind:

Digitized by Google

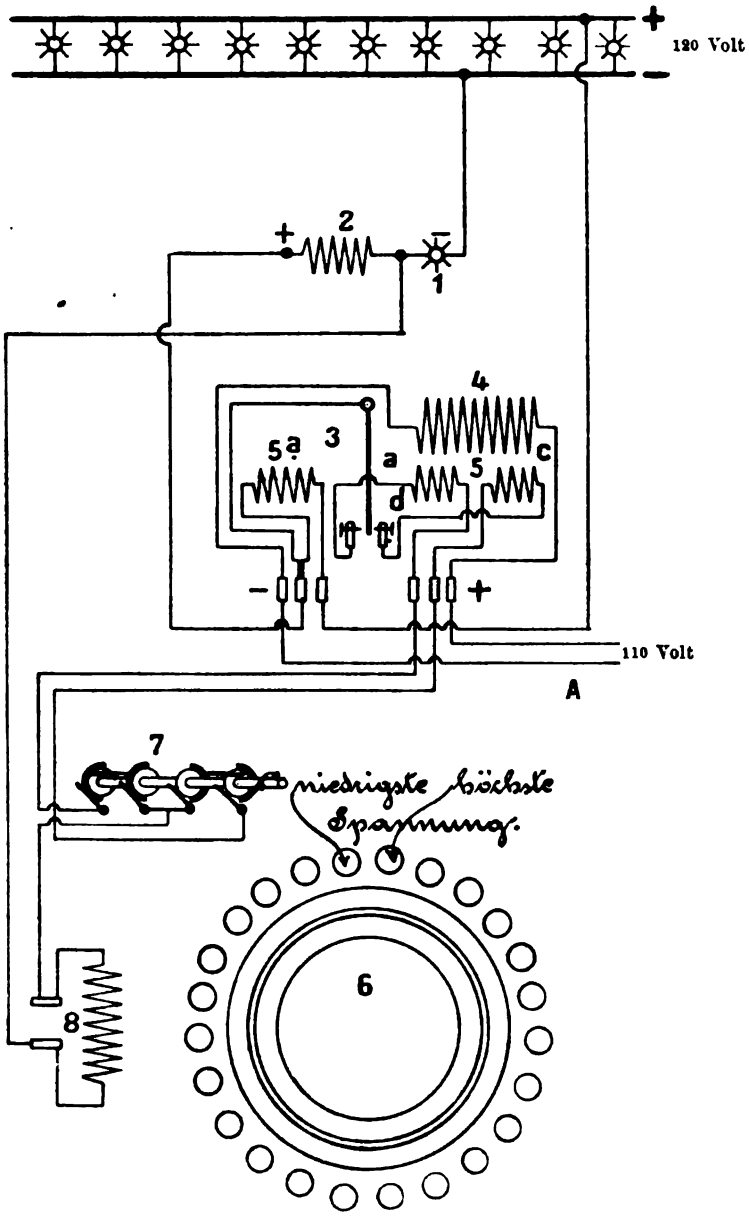


Fig. 438.

1. Glühlampe mit
2. Hilfsspule,
3. Steuerapparat mit
4. Kupferspule,
5. Hilfswicklungen,
5a. Dämpfung,
6. Reguliervorrichtung mit
7. Schleifringen,
8. Klinkwerk.

Digitized by Google

Das Schaltwerk ist in Fig. 439 in seinen Einzelheiten ersichtlich:

W ist die von einem Motor angetriebene Exzenterwelle. Der mit dem Exzenter in Verbindung stehenden Zahnstange Z wird durch denselben eine fortwährend auf- und niedergehende Bewegung erteilt, an welcher jedoch der Bürstenschlitten B nicht teilnimmt, solange die beiden Klinken K nicht in die Zahnstange eingreifen. Das Eingreifen der Zahnstange wird dadurch bewirkt, daß mit Hilfe der Kontaktvorrichtung A (Fig. 437) der am Bürstenschlitten befindliche Elektromagnet M erregt wird. Derselbe zieht den Anker A an, welcher die beiden Klinkenhalter H auslöst, so daß beide Klinken K durch die Federn F auf die Zahnstange gedrückt werden. Sobald dann die eine der Klinken in die Zahnlücke eingreift, wird der Bürstenschlitten, der jeweiligen Bewegungsrichtung der Zahnstange entsprechend, nach oben oder nach unten

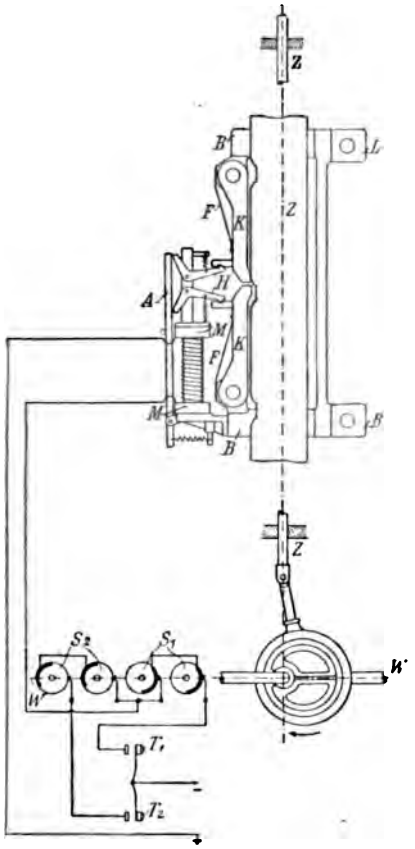


Fig. 439.

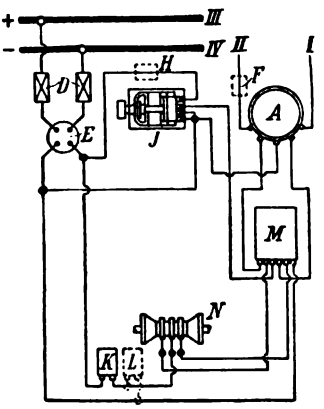


Fig. 440.

mitgenommen. Bei Beginn des Rückganges der Zahnstange wird der Elektromagnet wieder stromlos, so daß die Klinken durch die Zahnstange wieder in die Klinkenhalter H hineingedrückt werden.

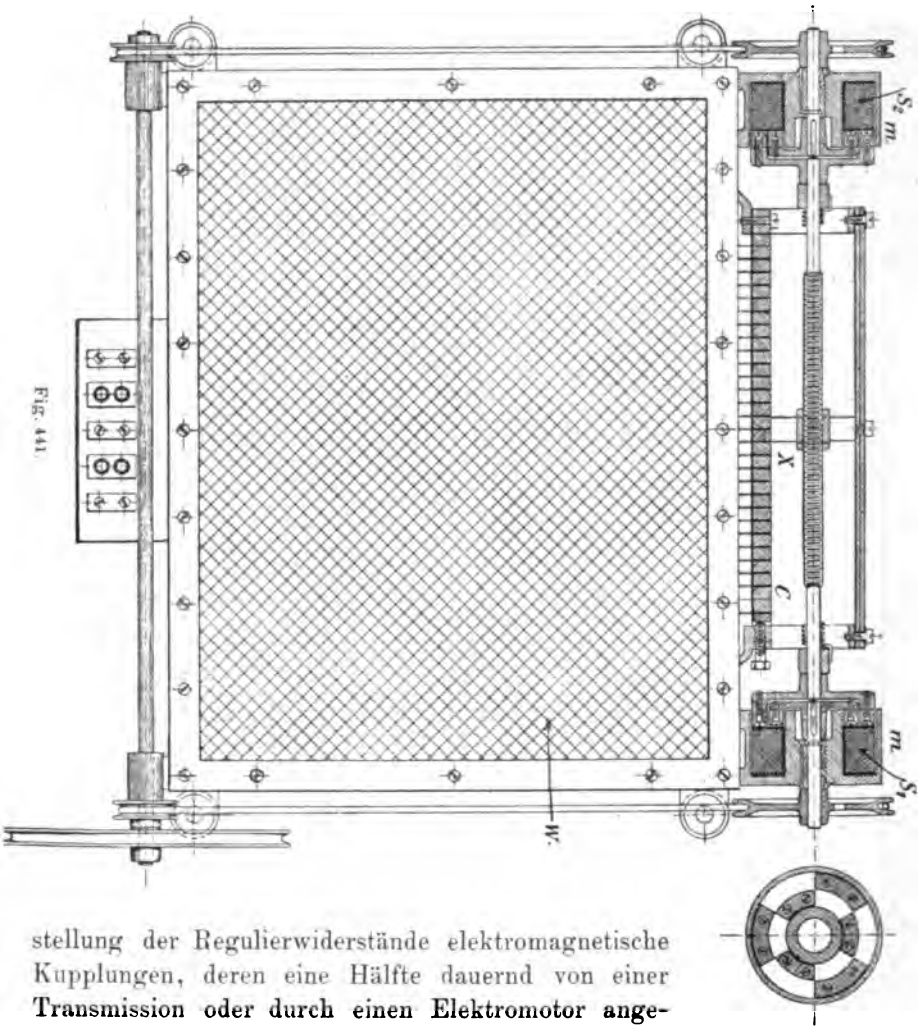
Die aus den auf der Exzenterwelle sitzenden Schleifringen S_1 und S_2 und einem am Schaltbrett angebrachten Taster T_1 und T_2 bestehende Kontaktvorrichtung ist folgendermaßen ausgebildet. Die beiden links befindlichen Schleifringe schließen den Stromkreis beim Aufgang der Exzenterstange, die beiden anderen beim Niedergang. Wird nun der Taster T_1 oder T_2 betätigt, so wird der Elektromagnet entweder beim Aufgang oder beim Niedergang der Zahnstange erregt und der Bürstenschlitten von der Zahnstange entsprechend vor- bezw. zurückgeschoben.

Der Steuerapparat A (Fig. 437) kann für Gleich- und Wechselstrom eingerichtet werden. In Fig. 437 bedeuten D Sicherungen, E zwei-

Digitized by Google

poliger Ausschalter, H und F Vorschaltwiderstände, J Antriebsmotor des Schaltwerks G.

Für den Fall, daß im Netz plötzlich große Belastungsänderungen auftreten, verwendet die Firma Siemens-Schuckert-Werke zur Ver-



stellung der Regulierwiderstände elektromagnetische Kupplungen, deren eine Hälfte dauernd von einer Transmission oder durch einen Elektromotor angetrieben wird (Fig. 440). Ein Spannungsrelais A, das mit einem zweiten Relais M zur Aufnahme der Unterbrechungs- und Schließungsfunken verbunden ist, schließt einen der zwei Erregerkreise der Kupplung, wodurch die zweite Kupplungshälfte und damit der Kontakthebel des Regulierwiderstandes im einen oder anderen Sinn mitgenommen wird.

Auch die E.-A.-G. vorm. Lahmeyer & Co. verwendet zur Verstellung des Widerstandsschlittens X (Fig. 441) zwei entgegengesetzt

Digitized by Google

rotierende magnetische Kupplungen m, deren eine Kupplungshälfte von einer Transmission oder einem Elektromotor betrieben wird.

Das Schaltwerk des sehr empfindlichen und zuverlässigen selbsttätigen Regulators von Thury ist aus Fig. 442 [1]) zu entnehmen (siehe auch E. P. 16083, Jahr 1899). Der mit zwei Klinken k_1 und k_2 versehene Doppelarm h wird durch einen kleinen Elektromotor dauernd in

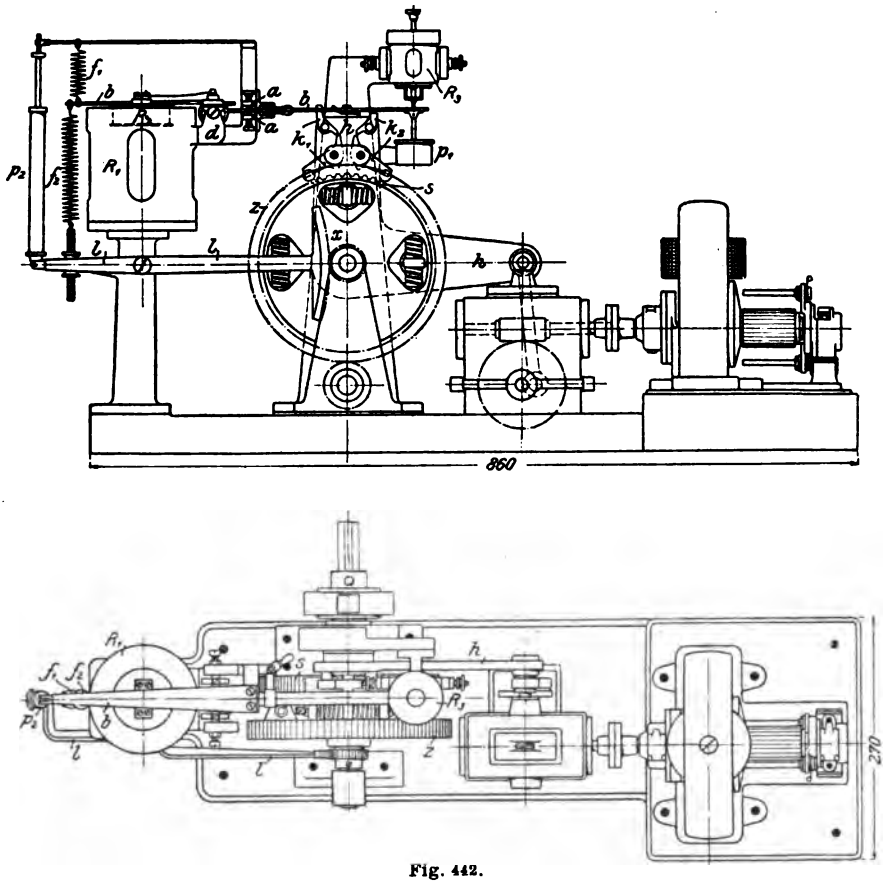


Fig. 442.

einer pendelnden Bewegung erhalten, die Klinken liegen jedoch nicht auf dem Zahnkranz s auf. Weicht die Spannung — in der Zeichnung wird allerdings auf konstanten Strom reguliert — von der normalen ab, so wird der Anker (die Spule) R_2 von der Spule R_1 angezogen oder abgestoßen und bei den Pendelungen des Armes h stößt dann ein Anschlag eine der beiden Klinken $k_1 k_2$ nieder, so daß das Rad z, das mit dem Hebel des Regulierwiderstandes verbunden ist, in einem oder im

[1]) Z. V. D. I. 1903, S. 79.

Digitized by Google

anderen Sinne mitgenommen wird. Bei dieser Schaltung wird auch gleichzeitig die ursprüngliche Lage des Ankers (der Spule) R_2 durch eine Zahnradübersetzung x und den Hebel l wieder hergestellt, so daß

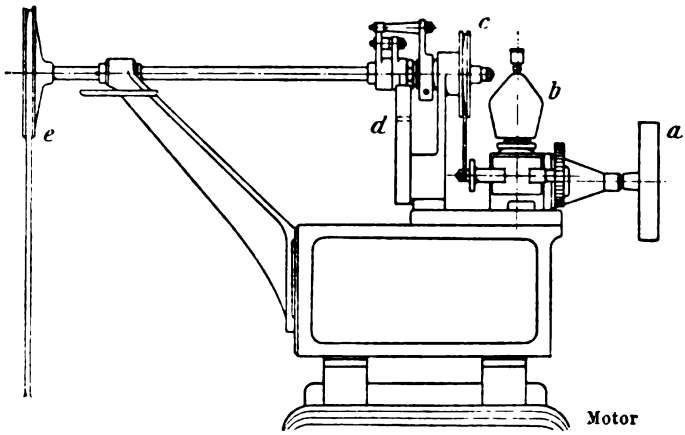


Fig. 443.

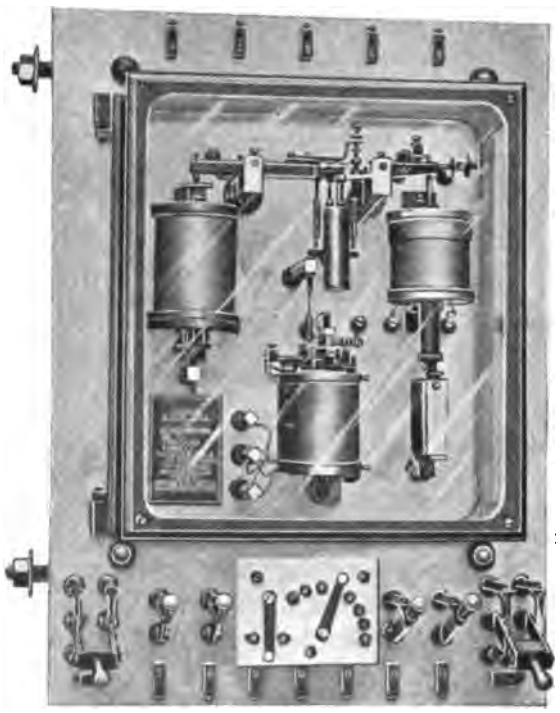


Fig. 444.

der Apparat stets auf absolut konstante Spannung einstellt. Zur Vermeidung einer Ueberregulierung sind die dämpfenden Federn f_1 f_2 und der Oelpuffer p_2 vorgesehen.

Digitized by Google

Zur Regulierung der Serienmotoren für konstanten Strom verwendet Thury den Regulator Fig. 443: a wird von der Motorachse angetrieben, der Fliehkraftregler b dreht bei Belastungsänderung die Scheibe c und verstellt damit den Kontakthebel d, der über die Stufen eines Widerstandes parallel zur Feldwicklung gleitet, sowie durch die Scheibe e die Bürsten auf dem Kommutator. Beim Anlauf stehen die Bürsten um $^1/_2$ Polteilung aus der neutralen Zone verschoben; sie werden allmählich bis in die neutrale Zone geschoben, was bei $^1/_2$ bis $^2/_3$ der Volllast oder

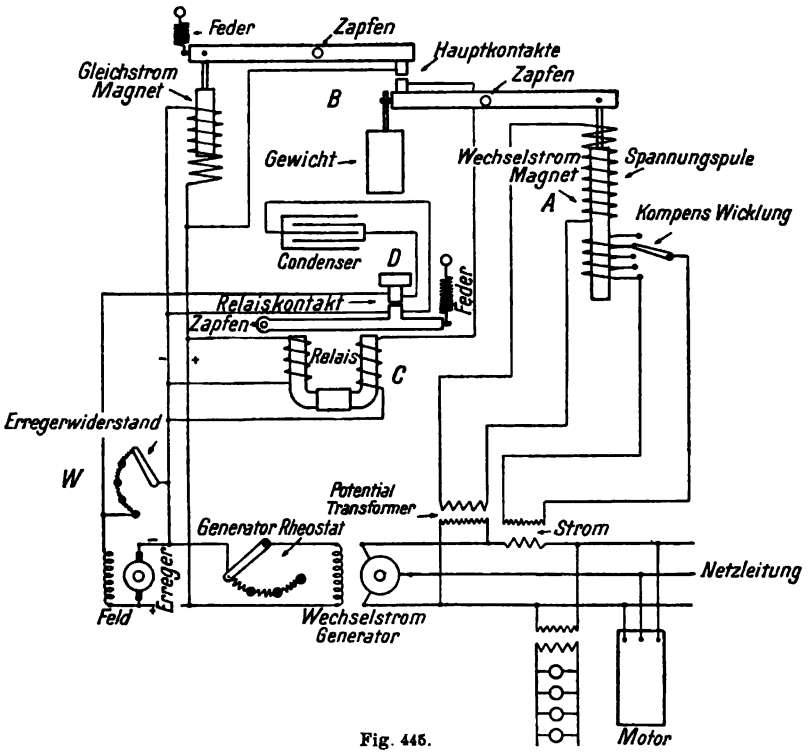


Fig. 445.

voller Spannung erreicht ist, darüber hinaus vermehrt der Regler den parallelen Widerstand mehr und mehr [1]).

Der von der General Electric Co. gebaute Tirrilregulator (Fig. 444) besitzt infolge seines Prinzips die Möglichkeit, die Spannung auch bei sehr starken Belastungsänderungen induktiver und plötzlicher Natur fast augenblicklich der Last anzupassen. Seine Wirkungsweise ist folgende: In den Erregerkreis ist ein Widerstand W (Fig. 445) eingeschaltet, der an sich die Spannung selbst bei Leerlauf unter die normale herabdrückt. Dieser Widerstand wird durch ein Relais in der

[1]) Siehe auch Niethammer, Handb. der Elektrot. Bd. IX, Fig. 77a—c.

Digitized by Google

Sekunde 1- bis 20mal kurzgeschlossen. Bei kurzgeschlossenem Widerstand hat die Spannung die Tendenz, die normale weit zu übersteigen.

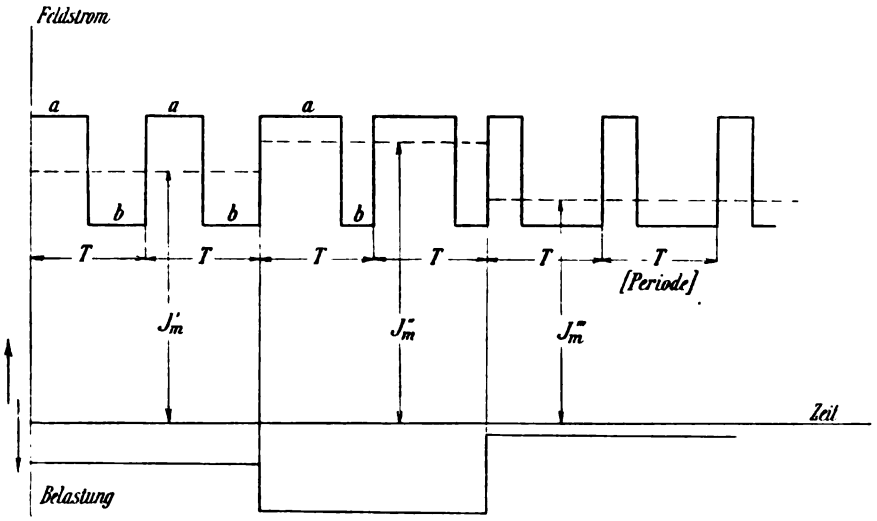
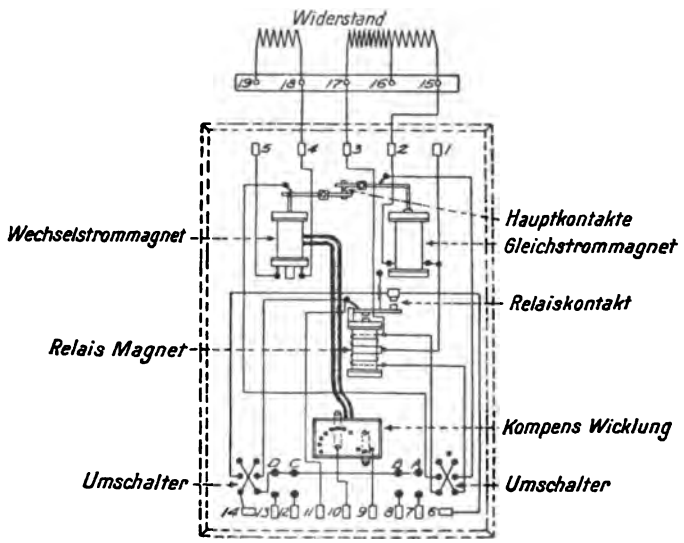


Fig. 446

Ein Spannungs- oder Stromrelais A variiert nun entsprechend der Belastung die Zeitdauer, während der der Widerstand W offen und



A B C D = einpol. Schalter für 4 Erreger

Fig. 447.

geschlossen ist. Der Erregerstrom nimmt damit einen fluktuierenden Charakter an, die Tendenz zu einer Stromänderung ist stets vorhanden,

Digitized by Google

sie wird nur im einen oder anderen Sinn verlängert (Fig. 446, wo der Verlauf des Erregerstroms gezeichnet ist). In Wirklichkeit werden jedoch die scharfen Ecken abgerundet. Die für die Spannung maßgebenden mittleren Erregerströme sind mit J_m', J_m'', J_m''' bezeichnet. Die beweglichen Teile des in Fig. 444 abgebildeten Regulators sind alle leicht und besitzen kleine kurze Bewegungen. Das Schema des Apparates ist in Fig. 445 für den Fall eines Drehstromgenerators gegeben. Ein vom Netzstrom und der Netzspannung differentiell erregtes Solenoid A schließt durch die Kontakte B einen Gleichstromkreis auf das Relais C und dieses öffnet und schließt eine Ueberbrückung parallel zu dem Erregerwiderstand W. Parallel zu den Kontakten liegt zum Funkenentziehen ein Kondensator. Die Grundplatte hat die Dimensionen 380 × 520 × 30 mm. Die Fig. 446 enthält ein Schema, das die Gruppierung der praktischen Ausführung entsprechend gibt.

38. Zellenschalter.

Die Zellenschalter haben die Aufgabe, entsprechend der Belastung Akkumulatorenzellen ab- und zuzuschalten, d. h. die Spannung um $\pm$ 2 Volt zu ändern bezw. innerhalb $\pm$ 1 bis 2 % konstant zu halten. Bei höherer Netzspannung (500 Volt und mehr) schaltet man pro Stufe wohl auch 2 bis 5 Zellen, d. h. 4 bis 10 Volt zumal. Die an die einzelnen Elemente angeschlossenen Kontakte aus Kupfer oder Messing (Fig. 448 u. 449) liegen auf einer geraden oder kreisförmigen Bahn und sind durch Isolationsstücke, z. B. aus Glas, oder auch durch Luftstrecken voneinander isoliert. Die Isolation ist so breit, daß die bewegliche Schleiffeder nie zwei Metallkontakte überbrückt, d. h. es ist zu verlangen, daß beim Schalten von einem Kontakt zum anderen die zugehörige Zelle durch den Schalthebel nicht kurzgeschlossen wird, es soll aber auch die Netzzuleitung keinen Augenblick unterbrochen werden. Deshalb sitzt neben der Hauptbürste d eine Hilfsbürste g (Fig. 451) und beide sind durch einen Widerstand w verbunden, der so groß ist, daß, wenn beide Bürsten auf einem Metallkontakt stehen, der Kurzschlußstrom der betreffenden Zelle mäßig bleibt. Der Schalter ist indes durch Anschläge so zu markieren, daß der Schalthebel nie in einer solchen Zwischenstellung lange stehen bleibt. Der Hilfswiderstand kann entweder auf

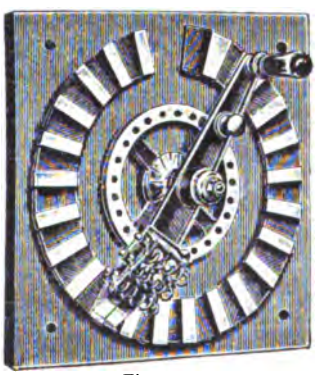


Fig. 448.

Digitized by Google

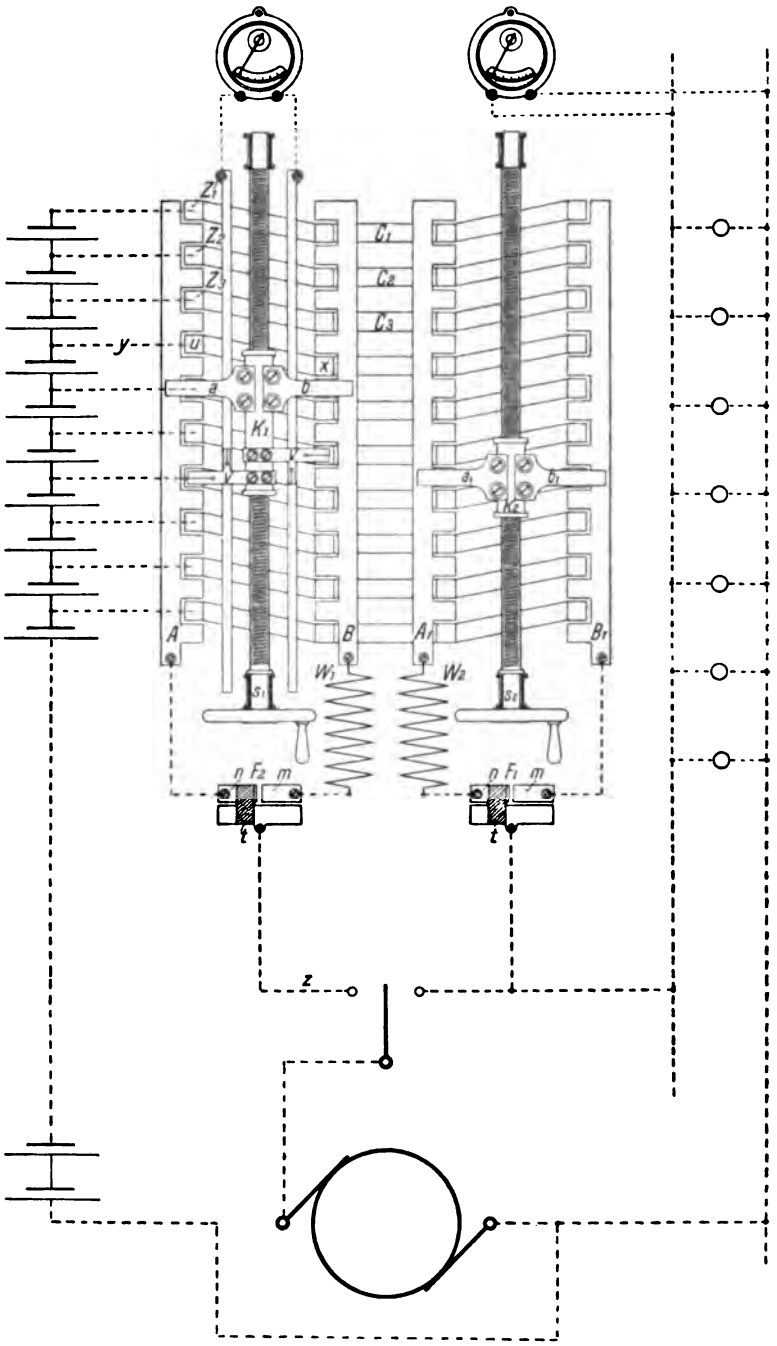


Fig. 449.

Digitized by Google

dem Schalthebel (Fig. 448) bezw. dem Kontaktschlitten selbst oder auch ganz für sich montiert sein. Im letzten Fall ist er mit den Schaltkontakten durch zwei besondere Schienen und Hilfskontakte verbunden.

Die Firma Schuckert & Co.[1]) hat in Fig. 449 die Funkenbildung von den Hauptkontakten a b nach einem besonderen Funkenzieher F weggelegt. Wird z. B. der Schlitten a b nach oben geschoben, so läuft der Arm b stromlos auf den Klotz x auf, dann geht der Klotz t des Funkenziehers F_1 auf m über und die Leitung y liegt jetzt über den Widerstand w_1 an der Fernleitung z. Inzwischen ist der Arm a durch t von der Fernleitung z abgetrennt worden und er kann stromlos auf den Klotz u auflaufen, worauf t wieder nach n zurückkehrt. Bei großen Stromstärken wird der

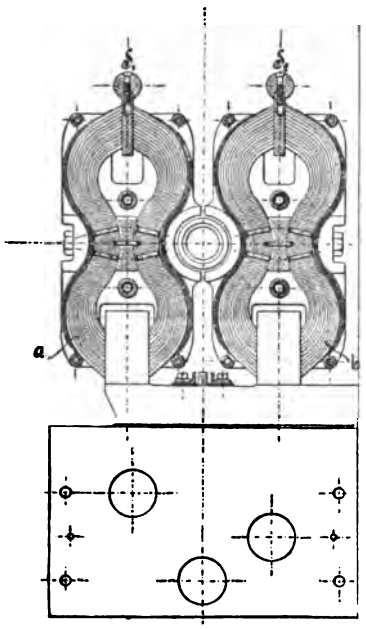


Fig. 450.

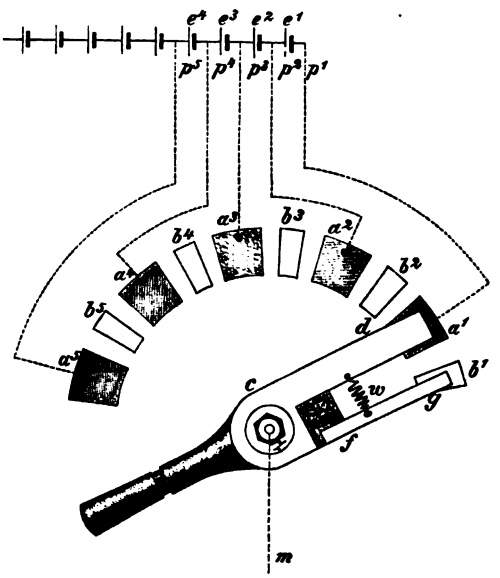


Fig. 451.

Schlittenkontakt aus kräftigen Federn a und b nach Fig. 450 mit Doppelschienen S_1 und S_2 hergestellt. Der Ladeschlitten des Doppelzellenschalters Fig. 449 kann auch als zweiter Entladeschlitten benützt werden (D. R.-P. 60845) für eine zweite Fernleitung mit anderer Spannung oder zur Verstärkung.

Eine ebenfalls beachtenswerte Funkenentziehung für Zellenschalter wird von Dr. Paul Meyer-Berlin nach Fig. 452 u. 453 geliefert. Dabei laufen die beweglichen Kontakte, wie oben, stromlos auf die festen Kontakte auf und ebenso davon ab; der eigentliche Schaltprozeß vollzieht sich an dem besonderen Schalter f: e_1 e_2 e_3 sind die Kontaktklötze zum Anschluß an die Elemente, d die Schiene zur Stromableitung. Daneben liegen zwei Hilfsschienen x y und am Ende der Kontaktbahn der

[1]) E.T.Z. 1899, S. 153.

Digitized by Google

Schalter f, der beim Weiterschalten um eine Hauptstufe, z. B. von e_2 nach e_3, eine volle Umdrehung macht. In der Stellung Fig. 452 ist z. B. die Zelle zwischen e_2 und e_3 auf w geschlossen. Verläßt der Hauptkontakt c den Klotz e_2, so ist der letztere noch über f mit c ver-

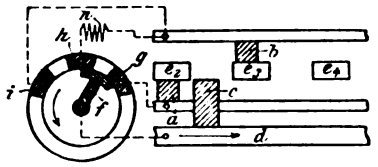


Fig. 452.

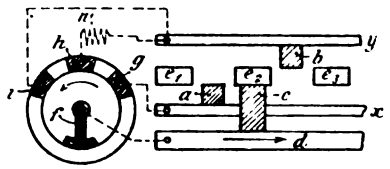


Fig. 453.

Fig. 454.

bunden und die definitive Unterbrechung geschieht zwischen f und g. Der Hilfsschalter muß deshalb eine geeignete Funkenentziehvorrichtung besitzen.

Noch einfacher vollzieht sich allerdings die Schaltung, wenn man von allen Hilfswiderständen absieht und die Schaltkontakte momentan von Stufe zu Stufe springen läßt. Dabei gibt es zwei Möglichkeiten,

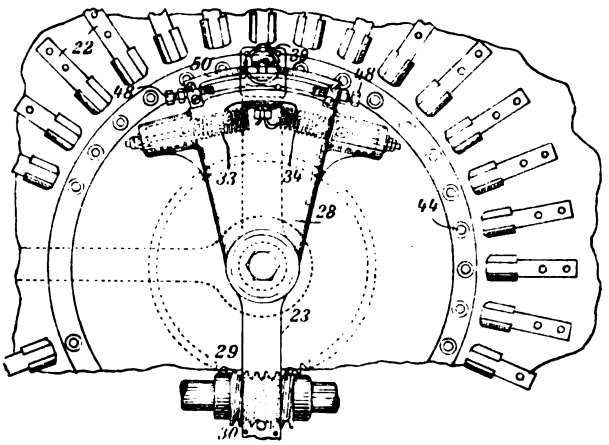
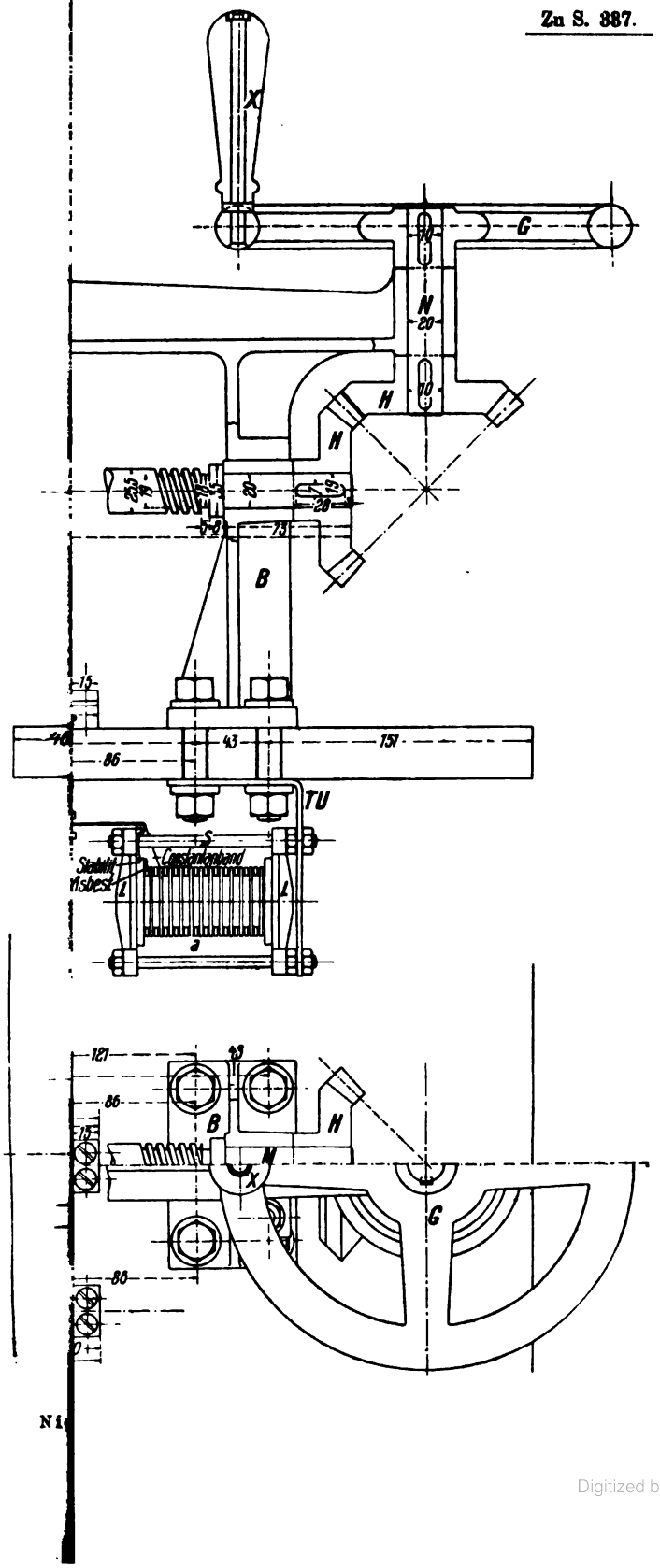


Fig. 455.

nämlich in der Zwischenstellung kann die Zwischenzelle momentan kurzgeschlossen sein (Schuckert, Fig. 454)[1]), was ihr kaum schaden kann.

[1]) Das Schaltgesperre für Fig. 454 ist in D. R.-P. 114060 beschrieben.

Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

Besser dürfte es jedoch sein, die Lücken breiter zu machen und den Stromkreis einen Moment ganz zu unterbrechen (Fig. 455 der General Electric Co.)[1]) bezw. die Kontakte nur durch den sich bildenden Lichtbogen überbrücken zu lassen.

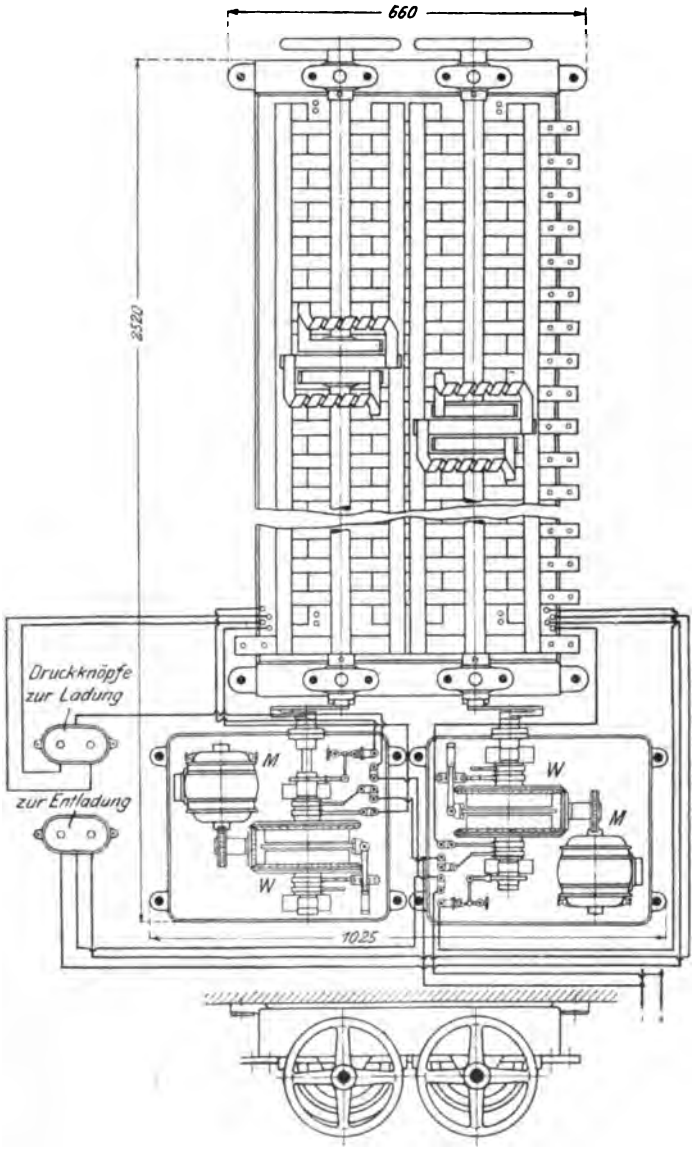


Fig. 456.

Auch der in Tafel XII abgebildete Zellenschalter der Maschinenfabrik Oerlikon hat eine springende Bewegung, allerdings gleichzeitig

[1]) Beschreibung siehe S. 342.

Digitized by Google

einen Hilfswiderstand a aus Konstantanband mit Asbestzwischenlage. Wird die große Schraubenspindel gedreht, so verschiebt sich zunächst nur die Mutter F und spannt die Feder Z. Der Schlitten selbst wird jedoch durch den federnden Anschlag P festgehalten, bis die Federspannung eine gewisse Grenze erreicht, wobei der Schlitten um einen Kontakt weiterspringt und der Anschlag P in eine neue Kerbe einschnappt [1]).

Die Zellenschalter können entweder für den Lade- oder Entladekreis bestimmt sein; vereinigt man beides, so ergibt sich der Doppelzellenschalter, der zwei Schalthebel besitzt (Fig. 454). Für größere Ströme kombiniert man in diesem Falle zwei einfache Zellenschalter (Fig. 449). Die geraden Zellenschalter der Siemens-Schuckert-Werke für Stromstärken über 200 Ampere haben 13 bis 34 Kontakte; die runden Zellenschalter Fig. 448 bis 100 Ampere werden mit 8 bis 30 Kontakten gebaut.

Die Bedienung der Zellenschalter erfolgt mittels Handhebels oder Handrads direkt oder mittels Seil- oder Kettenübersetzung (Fig. 34) oder auch durch Antrieb von einer Transmission oder durch einen Elektromotor oder durch Schaltmagnete [2]). In den letzten Fällen läßt sich der Entladezellenschalter auch selbsttätig durch ein Spannungsrelais bedienen. Der Antrieb der selbsttätigen Zellenschalter ist derselbe wie bei den selbsttätigen Regulierwiderständen, siehe z. B. Fig. 434. Der für die Hochschule Danzig gelieferte Doppelzellenschalter [3]) Fig. 456 der A. E.-G. wird mittels zweier Druckknöpfe durch Elektromotoren M und elektrisch

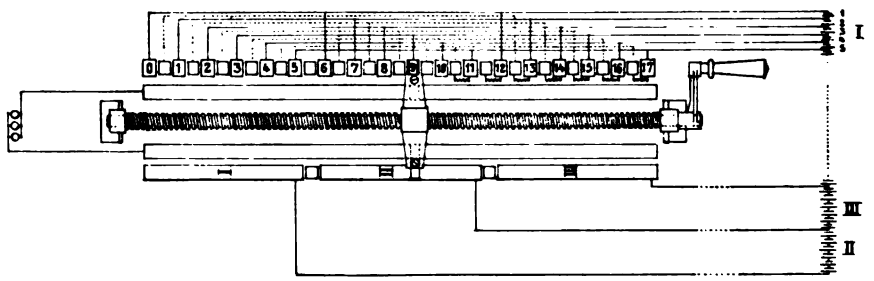


Fig. 457.

gesteuerte Wendegetriebe W betätigt [4]). Die elektrische Fernbetätigung hat den großen Vorteil, daß der Zellenschalter nahe bei der Batterie — allerdings keinesfalls im Batterieraum selbst — montiert und der be-

[1]) Siehe auch Zeitschr. für Elektrotechnik u. Maschinenbau 1901, S. 402.

[2]) Ein Zellenschalter mit Schaltmagneten der Hagener Akkumulatorenfabrik ist in Niethammer, Hebezeuge Fig. 46 abgebildet.

[3]) Josse, Z. V. D. I. 1904.

[4]) Ein weiterer automatischer Zellenschalter von Lahmeyer-Frankfurt siehe E.T.Z. 1903, S. 416.

Digitized by Google

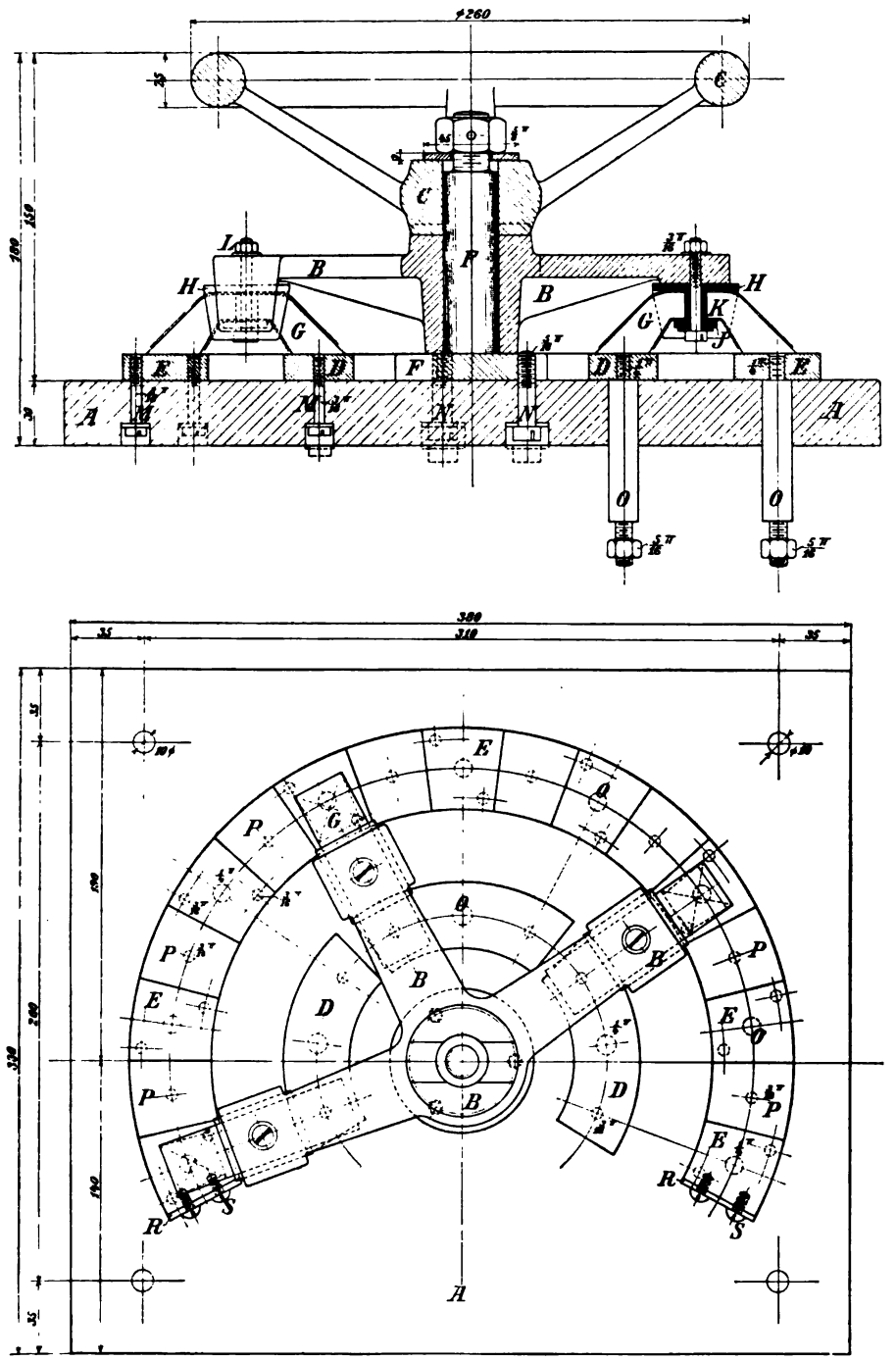


Fig. 468.
Vereinigte Elektrizitätsgesellschaft Wien.

Digitized by Google

trächtliche Preis der Zellenschalterleitungen reduziert werden kann, siehe z. B. Niethammer, Elektrot. Praktikum Fig. 523. Eine von Erlacher angegebene Anordnung, die noch eine weitere Reduktion im Preise dieser Leitungen gestattet, ist aus Fig. 457 erkenntlich. Dabei wird immer nach der Abschaltung von fünf Einzelzellen eine Gruppe von fünf Zellen auf einmal abgetrennt und dann fängt man wieder mit denselben fünf Einzelzellen an. Die Zellenschalterleitungen werden in der Regel wegen ihrer intermittierenden Einschaltdauer höher (1½- bis 2fach) beansprucht als andere Schalttafelleitungen[1]) und zwar umso höher, je geringer die Selbstkosten der KW-Stunde und je mehr Abschaltezellen vorhanden sind (5 Amp./qmm bei vielen bis 1 Amp./qmm bei wenigen Leitungen).

Werden Akkumulatorenbatterien mit wesentlich höherer oder niedriger Spannung geladen, als ihrer Entladungsspannung entspricht, so werden Gruppenschalter erforderlich, um die Batterie in zwei oder mehr parallele Abteilungen schalten zu können (Fig. 98). Es tritt dieser Fall ein, wenn eine 120 Voltbatterie aus einem 500 Voltnetz geladen werden soll, oder wenn keine zusätzliche Ladespannung vorhanden ist. Gegen Schluß der Ladung ist in der Regel die Gruppierung eine andere als zu Anfang. Einen solchen dreifachen Gruppenschalter für 130 Ampere der Vereinigten Elektrizitätsgesellschaft Wien zeigt Fig. 458; dessen einzelne Teile enthält folgende Stückliste:

Stückliste.

Pos.	Stück	Gegenstand	Material
A	1	Marmorplatte 380 × 330, 30 mm stark	Marmor
B	1	Bürstenstern	Gußeisen
C	1	Handrad	„
D	1	Kontaktring	Messingguß
E	1	Kontaktring	„
F	1	Drehbolzen mit $^5/_8$"-Mutter	Schmiedeisen
G	3	Kupferbürsten	Kupferblech 0,5 mm stark
H	3	Isolationsstücke	Stabilit
I	3	Isolationsplatten	„
K	3	Isolationsröhren 10 mm Durchmesser .	„
L	3	Schrauben mit Mutter $^3/_{16}$"	Messing
M	32	Befestigungsschrauben $^3/_{16}$"	Eisen
N	3	Befestigungsschrauben $^5/_{16}$"	„
O	12	Anschlußbolzen Nr. 6	normal
P	8	Isolationssegmente	Stabilit
R	2	Anschlagplatten	Messingblech 3 mm stark
S	4	Schrauben $^3/_{16}$" 10 mm lang	Messing

[1]) Siehe E.T.Z. 1901. S. 1003.

Digitized by Google

39. Wechselstromregulierapparate[1]).

Die Spannung von Wechselstromleitungen läßt sich außer durch induktionsfreie Widerstände im Haupt- und in den Erregerkreisen auch noch in folgender Weise regulieren:

1. Man versieht die Generatorwicklung in jeder Phase mit einer Reihe Anschlüsse, die man mit Hilfe eines geeigneten mehrfachen Stufenschalters beliebig ans Netz anschließen kann[2]).

2. Durch Drosselspulen, deren magnetischer Widerstand z. B. durch Verschieben des Eisenkerns oder durch Aenderung der Größe eines Luftspalts im magnetischen Kreis variiert wird. Auch kann man über die Wicklung einen geschlossenen Metallzylinder mehr und mehr überschieben, wodurch die Impedanz allmählich auf Null verringert wird[3]). Eine Regulierung der Drosselspule ist ferner durch Ab- und Zuschalten von Windungen möglich.

3. Durch Verwendung von Transformatoren mit abschaltbaren Windungen (Fig. 459), wo speziell ein Zusatztransformator der General Electric Co. gezeichnet ist. Um den Regulierbereich zu vergrößern,

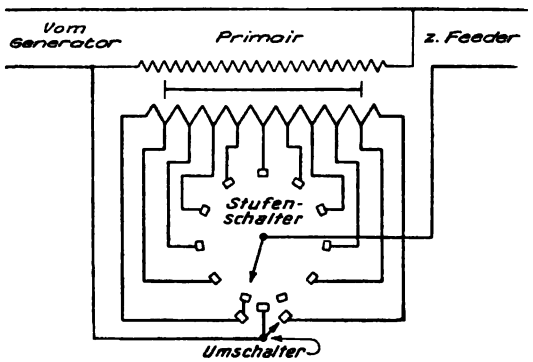


Fig. 459.

kann die Sekundärwicklung mit Hilfe eines Umschalters sowohl im Sinn als gegen den Sinn der Hauptspannung geschaltet werden. Bei derartigen Schaltern hat man dieselbe Schwierigkeit wie bei Zellenschaltern zu überwinden, d. h. die einzelnen Stufen dürfen nicht kurzgeschlossen und der Stromkreis soll nicht unterbrochen werden. Man kann wieder zwei bewegliche Kontakte anordnen, jeder schmäler als die Breite der Isolation zwischen zwei festen Kontakten, und zwischen beide einen Wider-

[1]) Die ausführliche Berechnung dieser Apparate wird in Bd. II unter „Transformatoren" gegeben.

[2]) Siehe Niethammer, Handbuch der Elektrotechnik Bd. IV, Fig. 308.

[3]) Niethammer, Elektrot. Praktikum Fig. 35.

Digitized by Google

stand, z. B. auch eine Drosselspule legen. Auch Funkenzieher am Schalthebel, z. B. aus Kohle, können wünschenswert sein. Meiner Erfahrung nach ist es jedoch am günstigsten, Schnappkontakte, etwa in der Ausführung der General Electric Co. (Fig. 455, E. P. 19495, Jahr 1900), zu verwenden, welche von Kontakt zu Kontakt springen, ohne je zwei Kontakte gleichzeitig zu berühren. Der Hauptstrom wird während der kurzen Zeit durch den Lichtbogen aufrecht erhalten. In Fig. 455 ist der Arm 23 bis 28 mit der Antriebschnecke 29 in festem Zusammenhang, mit dem eigentlichen Schalthebel aber nur durch die Federn 33 und 34. Der Kontaktarm wird zunächst durch einen Stift 39, der in ein Loch 50 paßt, festgehalten und erst freigegeben, nachdem die Federn eine bestimmte Spannung erreicht haben. Dieser Stift 39 schnappt dann auch in die nächste Stellung ein und verhindert ein Ueberschalten.

4. Die obigen Schaltschwierigkeiten lassen sich durch Verwendung sogen. Potentialregulatoren[1]) vollständig vermeiden. Für Drehstrom bestehen sie aus einem festgebremsten Induktionsmotor, an dessen Rotor z. B. die Netzspannung liegt und an dessen Stator die Zusatzspannung im positiven und negativen Sinn erzeugt wird. Durch Drehen des Rotors über eine doppelte Polteilung, z. B. mittels Schnecke und Schneckenrad, kann man nach Fig. 460 jede Netzspannung E_n zwischen $E \pm e$ herstellen.

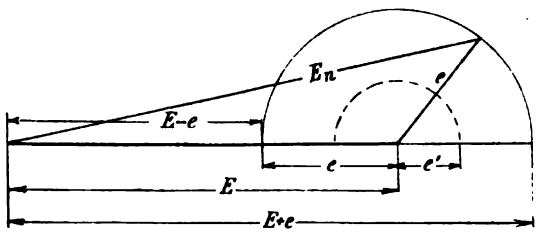


Fig. 460.

Die Zusatzspannung e nimmt jedoch mit wachsendem Statorstrom stark ab, ist er gleich dem Kurzschlußstrom des Regulators, so wird $e = 0$. Für Sechsphasenumformer benützt man sechsphasige Potentialregulatoren Fig. 461 (E.T.Z. 1902, Heft 31), worin SA die Zusatzwicklung und PA die induzierende Rotorwicklung ist. Der Rotor wird durch den Motor M verdreht. LS ist ein Grenzschalter zur Vermeidung des Ueberregulierens. Finzi hat für die Valtellinabahn den Potentialregulator Fig. 462 entworfen: Der Stator trägt zwei in Nuten verteilte Wicklungen a und b; a erhält dreiphasig 3000 Volt, in b werden zweiphasig 200 Volt induziert. Im Rotor werden ebenfalls etwa 200 Volt erzeugt,

[1]) Berechnung der Potentialregulatoren siehe Bd. II.

Digitized by Google

die sich beliebig geometrisch zu den 200 Volt im Stator schlagen lassen (0 bis 400 Volt). Jede Phase speist eine Motorgruppe d.

Bei Einphasenstrom nimmt der Potentialregulator die Form Fig. 463 [1]) an; im Stator liegt eine Wicklung $J_1 N_1$ verbunden mit der Hauptspannung E, auf dem Rotor die Zusatzwicklung $J_2 N_2$, deren Achse zur

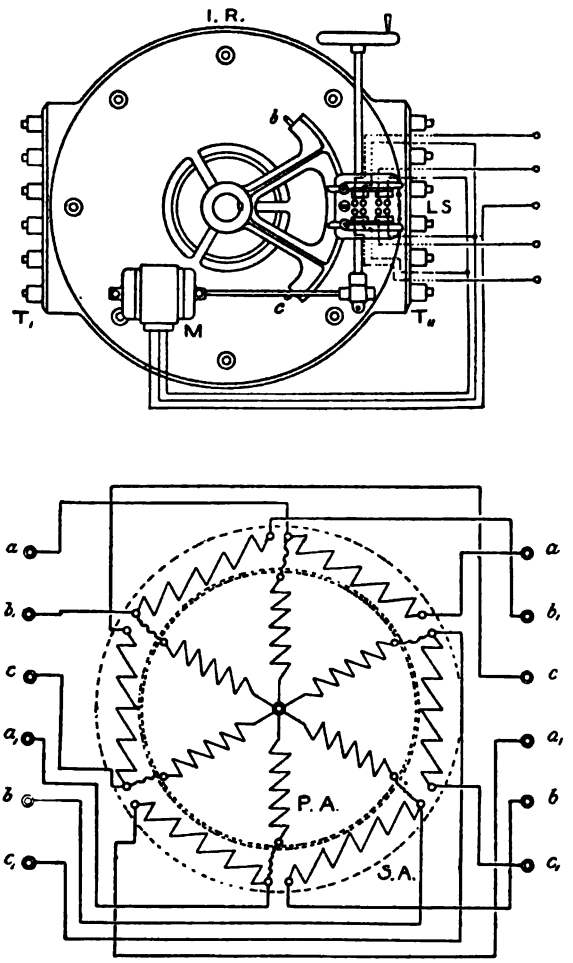


Fig. 461.

Variation der Gesamtspannung um 180° gedreht wird. Um die Rückwirkung der Rotorwicklung und den dadurch bedingten Spannungsabfall aufzuheben, ist primär eine kurzgeschlossene Hilfswicklung $J_3 N_3$ aufgebracht, die um eine halbe Polteilung gegen die Hauptwicklung ver-

[1]) Nach Fleischman-Eichberg.

Digitized by Google

schoben ist. Man kann auch die Primär- und Sekundärwicklung beide auf den Stator legen und nur einen doppelsektorförmigen Eisenkörper

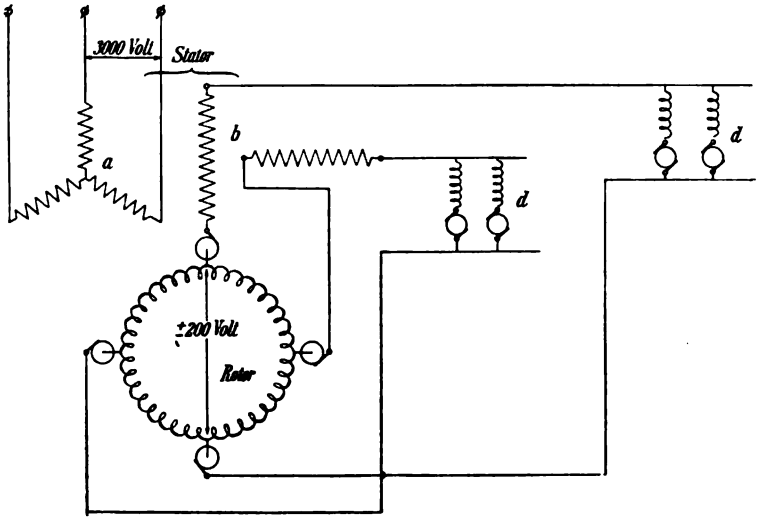


Fig. 462.

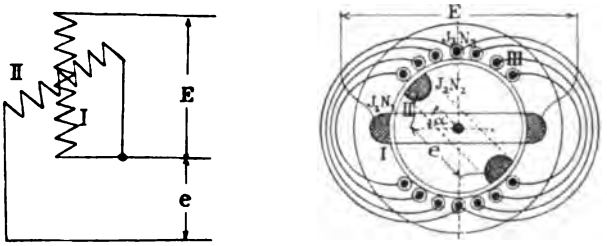


Fig. 463.

drehen. Die Materialausnützung ist aber dann unvorteilhaft. Auch beim einphasigen Regulator sinkt die maximale Zusatzspannung e stark mit dem Strom.

Digitized by Google

IX. Anlasser[1].

40. Einteilung.

Zum Anlassen von Motoren verwendet man in sehr vielen Fällen

1. annähernd induktionsfreie Widerstände im Ankerkreis von Gleich- oder Wechselstromkommutatormotoren und im Rotorkreis von Drehstrominduktionsmotoren oder von Repulsionsmotoren, ausnahmsweise auch im Primärkreise. Bei Wechsel- und Drehstrom können die Widerstände auch induktiv sein, was aber unrationell ist. Eine Drosselspule kann auch für kleinere Gleichstrommotoren als Anlasser dienen, sie wird nach der Anlaßperiode kurz geschlossen. — Ferner bedient man sich zum Anlassen der

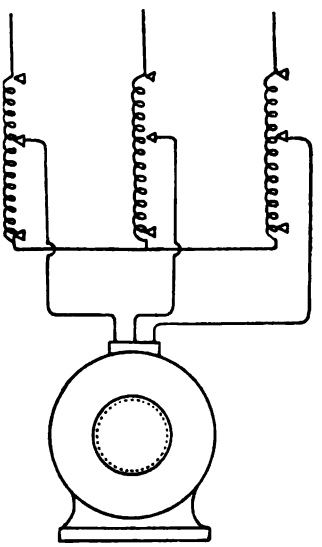


Fig. 464.

2. Anlaßtransformatoren[2]) für Einphasen- und Mehrphasenkommutatormotoren, seltener auch von Induktionsmotoren, und zwar kommen in Frage Zweispulen- und Einspulentransformatoren mit abschaltbaren Windungen oder Spulen, sowie Potentialregulatoren. Die Einspulentransformatoren oder Kompensatoren (Fig. 464) werden besonders in Amerika ausgiebig auch für Drehstrominduktionsmotoren verwendet. Die konstruktive Durchbildung eines solchen Kompensatorschalters der Union E.-G. für 50 PS 500 Volt veranschaulicht Fig. 465a u. b; links an Fig. 465b sind fünf weitere Kontakte angesetzt

[1]) Dieses Kapitel ist ausführlicher wie hier behandelt in des Verfassers „Elektrische Hebezeuge“ und „Mod. Ges. f. d. Entwurf elektr. Masch. u. Apparate“, siehe ferner Bd. IV u. V.

[2]) Siehe Berechnung der Anlaßtransformatoren in Bd. II und eine Kritik derselben in Z. f. E., Wien 1903, S. 388.

Digitized by Google

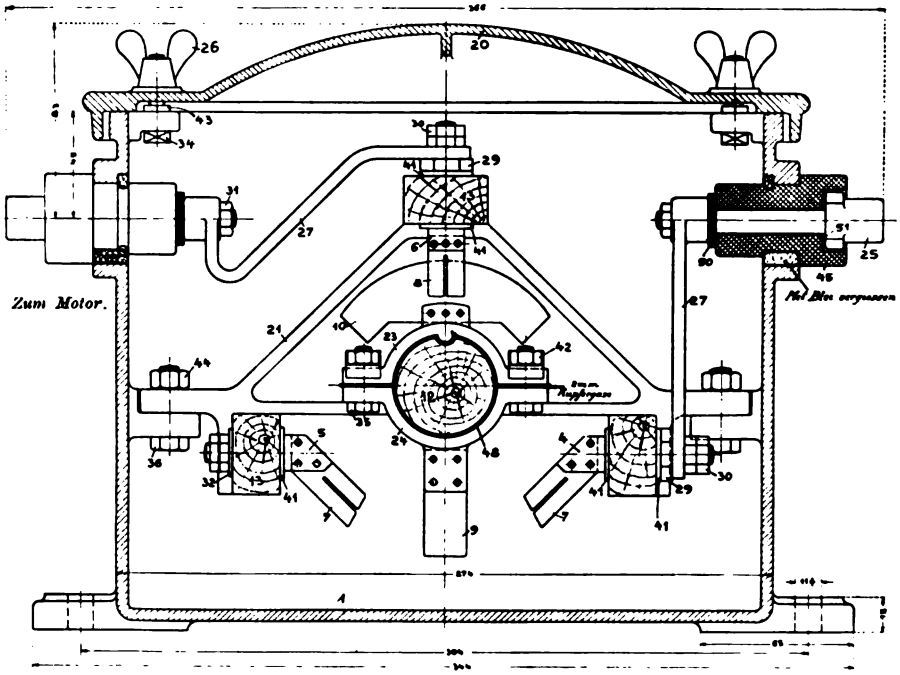


Fig. 465 a.

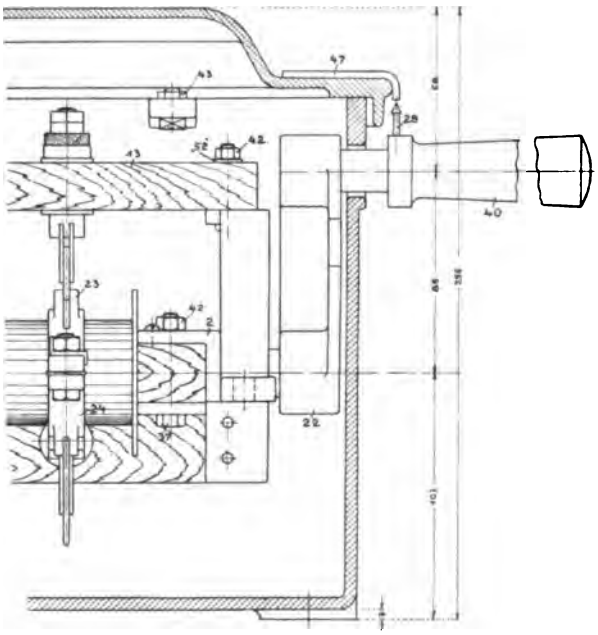


Fig. 465 b

Digitized by Google

zu denken. Die Schaltwalze (12) legt in der Stellung links den Motor über den Anlaßtransformator ans Netz, in der Stellung rechts wird der Motor direkt ans Netz gelegt. (48) in Fig. 465b ist eine Lage Asbest. Der Topf ist mit Oel gefüllt. Eine ähnliche Wirkung hat auch die Stern-Dreieckschaltung der Statoren von Drehstrommotoren (Stern bei Anlauf, Dreieck bei Lauf, wenn ein geringer Anlaßstrom verlangt wird zur Erzielung eines hohen Anzugmoments umgekehrter Reihenfolge). Auf einer Variation der Motorspannung beruht auch das Anlassen vermittels

3. Mehrleiternetze (hauptsächlich für Gleichstrom), wobei mit der niedrigsten Spannung eingesetzt wird, ferner die

4. Serienparallelschaltung von zwei, vier und mehr Motorgruppen (für Gleich- und Einphasenstrommotoren); dann das Anlassen mit Hilfe eines

5. ausgiebigen Zellenschalters[1]) einer Akkumulatorenbatterie; ferner das Anlassen mit Hilfe einer

6. gegenelektromotorischen Kraft in Form einer Dynamo mit variabler EMK. In der einfachsten Form läßt man den Motor von einem besonderen Generator an, dessen Spannung man allmählich von Null aufwärts steigert. (Siehe unter Anlaßdynamos.)

7. Die Gegen-EMK kann auch in Form eines Lichtbogens verwendet werden.

Für Repulsionsmotoren und Gleichstromserienmotoren für konstanten Strom ist endlich ein Anlassen möglich durch

8. Verstellen der Bürsten um gegen eine halbe Polteilung oder durch Versetzen der Statoranschlüsse um gegen eine halbe Polteilung. Die Bürstenverstellung kann durch eine Kettenübertragung oder durch einen kleinen Hilfsmotor mit Schnecke geschehen[2]). Nach Verschiebung um einen bestimmten Winkel stellt sich der Motor selbst ab.

9. Schließlich kann der Motor mechanisch oder durch einen Druckluftmotor oder einen anderen kleineren Elektromotor (Anlaßmotor) auf Touren gebracht werden. — Auch Polumschaltung und Kaskadenschaltung wird zum Anlassen benützt.

41. Theoretische Ermittlung der Anlaßwiderstände.

Von all diesen Methoden sollen zunächst hier nur die Anlaßwiderstände besprochen werden. In allgemeinen Zügen ist in Band I S. 278

[1]) Da bei diesen Anlaßbatterien die einzelnen Zellen ungleich beansprucht werden, wird der Endanschluß des Batterieschalters nach jeder Anlaßperiode um 1/5 der Batterielänge weiter geschoben (D. R.-P. 104016, Union E.-G.) oder es wird abwechselnd vorn und hinten an der Batterie angefangen (Siemens & Halske).

[2]) Z. f. E., Wien 1905, S. 26.

Digitized by Google

die Ermittlung der Anlaßwiderstände gegeben, so daß hier die Abstufung zunächst für einen Gleichstromnebenschlußmotor ermittelt werden soll entsprechend dem Anlaßschema Fig. 466, woraus ersichtlich ist, daß zuerst das Feld voll erregt und erst dann der Anlaßwiderstand mehr und mehr abgeschaltet wird. Ist J_{max} der erforderliche maximale Anlaßstrom, der auch noch genügende Beschleunigung erzeugt, so ergibt sich als totaler Anlaßwiderstand w_1 im Ankerkreis einschließlich Ankerwiderstand w_a (Ankerwicklung samt Kommutatorwiderstand)

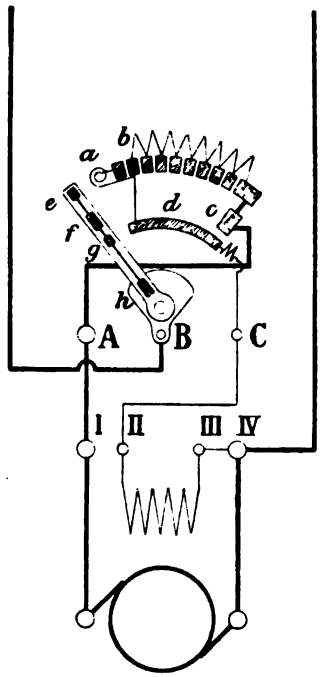


Fig. 466.

$$w_1 = \frac{E_k}{J_{max}} \quad . \quad . \quad . \quad (66)$$

oder für Volllastanzugsmoment

$$w_1 = \frac{\eta\, E_k^2}{PS \,.\, 736} \quad . \quad . \quad (67)$$

(E_k = Klemmenspannung, η = Wirkungsgrad des Motors, PS = Pferdestärken des Motors).

Der Strom sinkt nun bis auf J_{min}, während die Tourenzahl auf u_1 und die Gegen-EMK auf E_1 steigt, d. h.

$$w_1 = \frac{E_k - E_1}{J_{min}}.$$

Nun schaltet man die erste Stufe aus und J_{min} soll wieder auf J_{max} steigen, d. h. der Strom soll durchweg nur zwischen J_{max} und J_{min} schwanken, dann wird die erforderliche Stufenzahl s (Zahl der einzelnen Widerstände)

$$s = 1 + \frac{\log x}{\log \lambda}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (68)$$

falls

$$\lambda = \frac{J_{max}}{J_{min}} \quad \text{und} \quad x = \frac{w_1}{w_a},$$

s wird auf die nächste ganze Zahl aufgerundet. Bei gegebener Stufenzahl s ist die Stromschwankung

$$\lambda = \sqrt[s-1]{x}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (69)$$

Der Gesamtwiderstand irgend einer (der m^{ten}) Stufe ist

$$w_m = w_1 \,(\tfrac{1}{\lambda})^{m-1}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (70)$$

Digitized by Google

d. h. der Widerstand w_1 ist nach einer geometrischen Reihe abzustufen. Auch die einzelnen Stufenwiderstände $w_1 - w_2$, $w_2 - w_3$, $w_m - w_{m+1}$, .. w_a befolgen eine geometrische Reihe, d. h.

$$w_m - w_{m+1} = w_1 [(1/\lambda)^{m-1} - (1/\lambda)^m] = w_1 (1/\lambda)^{m-1} [1 - 1/\lambda]. \quad (71)$$

Praktisch führt man diese geometrische Einteilung entweder mit dem Rechenschieber oder graphisch aus. Im ersten Fall markiert man auf einem Papierstreifen, den man an die Skala des Rechenschiebers legt, die Werte von w_a und w_1 und teilt den Abstand auf dem Streifen zwischen den Marken w_a und w_1 in s gleiche Teile, wobei s aus obiger Gleichung (68) entnommen wird. Dann sucht man auf der Skala des Rechenschiebers die zu den einzelnen Teilstücken des Streifens gehörigen Werte, siehe Fig. 467, worin $w_a = 0{,}15$, $w_1 = 3$ Ohm und $s = 9$. Vor die

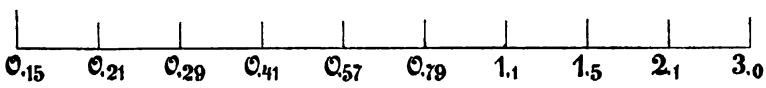


Fig. 467.

erste Stufe mit w_1 werden in der Regel noch einige Vorstufen gelegt, um das Netz zu schonen. Entspricht z. B. $w_1 = 3$ Ohm dem $1\frac{1}{2}$fachen des Volllaststroms, so wird man noch die Stufen $w' = 15$, $w'' = 7{,}5$ und $w''' = 4{,}5$ Ohm vor die Anlaßstufen setzen, entsprechend 30 %, 60 %, 100 % des vollen Stromes. Auf diesen Stufen läuft der Motor bei Vollast noch nicht an. Die Bemessung der Vorstufen kann nach obigen Prozentsätzen geschehen; es gibt aber auch empfindliche Netze, in denen z. B. nicht mehr als 25 oder 50 Ampere plötzlich eingeschaltet werden darf, dann ist die Stufung danach einzurichten.

Bei Serienmotoren kann die Stufenzahl wesentlich geringer sein als bei Nebenschlußmotoren, da $x = \frac{w_1}{w_a + w_s}$ etwa halb so groß wird wie bei Nebenschlußmotoren (w_s = Feldwiderstand), außerdem ändert sich mit dem Strom auch das Magnetfeld, es wird bei großem Anlaßstrom verstärkt, d. h. einer gegebenen Stromänderung entspricht beim Serienmotor in der Regel eine größere Drehmomentenänderung als beim Nebenschlußmotor. Der Ausdruck für die erforderliche Stufenzahl s lautet beim Serienmotor

$$s = \frac{\log \left\{ \left(1 - \frac{1}{x}\right) \frac{\mu - \lambda}{\mu (\lambda - 1)} + 1 \right\}}{\log (\mu/\lambda)} + 1, \quad . \quad . \quad . \quad (72)$$

$$\lambda = \frac{J_{max}}{J_{min}}, \quad x = \frac{w_1}{w_a + w_s}, \quad \mu = \frac{\Phi_{max}}{\Phi_{min}};$$

Digitized by Google

Φ_{max} der Magnetflux, der zu J_{max} gehört, Φ_{min} der Flux zu J_{min}. In den meisten praktischen Fällen genügt aber der Ausdruck (68), da $\frac{\Phi_{max}}{\Phi_{min}}$ selten stark von 1 abweicht.

Auch bei Drehstrommotoren kann die Stufenzahl s pro Phase nach dem Ausdruck (68) erfolgen, wobei $x = \frac{\text{Rotorwiderstand } w_a}{\text{max. Vorschaltwiderstand } w_1}$ pro Phase ist, $w_1 = \frac{\text{Rotorspannung } E_v \text{ bei Stillstand}}{\text{max. Anlaßmotorstrom } J_{max}}$ pro Phase. Ist J_{max} gleich dem Volllaststrom, so wird angenähert $J_{max} = \frac{PS \cdot 736}{3 \cdot E_v}$.

Der Wert von x ist bei Nebenschluß- und Drehstrommotoren etwa 100 bis 20, bei Serienmotoren etwa die Hälfte, der Wert von $1/\lambda$ ist = 0,8 bis 0,5, im Mittel 0,66 oder $\frac{J_{max}}{J_{min}} = 1{,}3$ bis 2,0, im Mittel 1,5; J_{max} selbst wird das 1- bis 3fache des normalen Stromes, meist das 1,5fache sein. Bei 3 PS ist die Stufenzahl 3 bis 10, bei 20 PS 5 bis 20, bei 50 bis 100 PS 8 bis 30, bei 500 PS 12 bis 50, bei Kontrollern weniger.

Schaltet man abwechselnd Widerstände aus den einzelnen Phasen eines Drehstrommotors aus, d. h. nicht gleichzeitig aus allen zwei oder

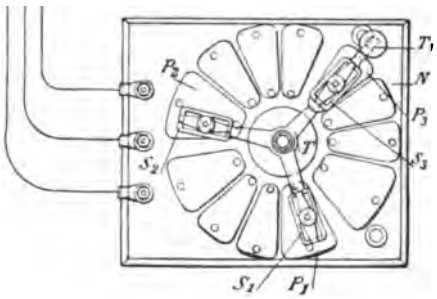


Fig. 468.

drei Phasen (Fig. 468), so kann die Gesamtstufenzahl aus dem Ausdruck (68) ermittelt werden, d. h. diese wird $^1/_2$ bezw. $^1/_3$ von dem Wert bei symmetrischer Anordnung.

Nach Mosler soll öfters für diese unsymmetrischen Drehstromanlasser die Stufenzahl pro Phase sein $s = 2{,}5 \log_{10} x - 1{,}2$, während bei symmetrischer Anordnung für $\lambda = 1{,}5$, $s = 5{,}7 \log_{10} x + 1$ wird.

Beim gleichzeitigen Anlassen mehrerer parallelgeschalteter Motoren kann man diese unsymmetrische Schaltung ebenfalls mit Vorteil verwenden, d. h. man schaltet die gleichen Widerstandsstufen der m Motoren nicht gleichzeitig aus, sondern nacheinander, die Stromstöße aufs Netz werden dadurch gemildert (Oest. Patent 18156, S. & H.). Will

Digitized by Google

man mit demselben Anlasser mehrere Motoren zu verschiedenen Zeiten anlassen, so hat man einen geeigneten Umschalter vor den Anlasser zu bauen. Parallel geschaltete Drehstrommotoren müssen völlig getrennte Anlasser haben, falls sie nicht auf ein und dieselbe Achse gekeilt sind; höchstens eine Rotorleitung kann gemeinsam sein.

Graphisch geschieht die Ermittlung der Widerstandsstufen von Nebenschlußmotoren nach Fig. 469: Mache $OB = w_1$, $BA = w_a$, $Oa = J_{min}$,

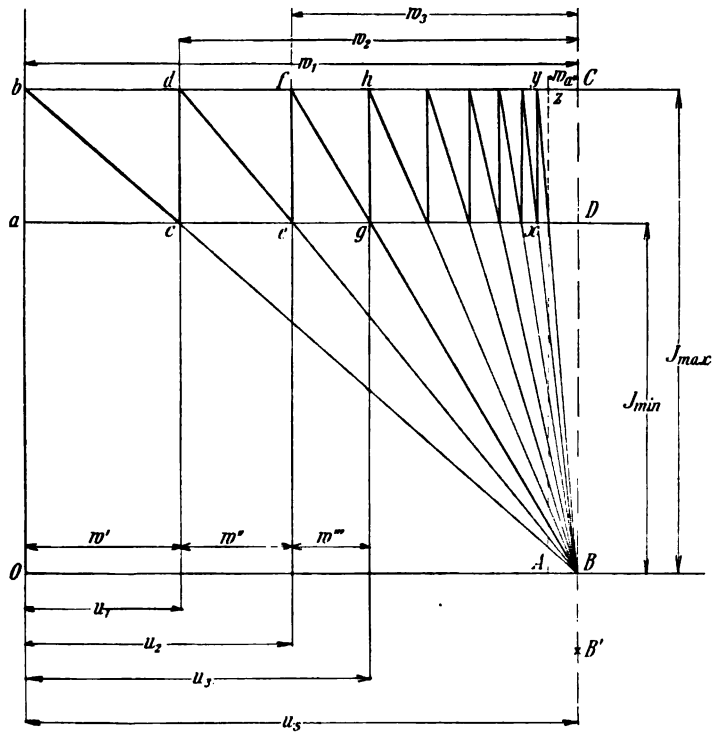


Fig. 469.

$Ob = J_{max}$. Ziehe die Zickzacklinie abcdefgh ... yxz, wobei zC möglichst nahe $= w_a$, dann sind $bC = w_1$, $dC = w_2$, $fC = w_3$ ... die gesamten Widerstände der Stufen, die Stufenzahl läßt sich abzählen. Die Widerstände der einzelnen Stufen selbst sind $w' = bd$, $w'' = df$, $w''' = fh$... Die Fig. 469 stellt zugleich in geeignetem Maßstab die Tourenzahl u_1, u_2 ..., die der Motor auf den einzelnen Widerstandsstufen erreicht, dar, falls $OB = u_s$ die maximale volle Tourenzahl des widerstandslosen Motors ist ($w_a = o$) oder genügend genau u_s = Leerlauftourenzahl, d. h. die auf den einzelnen Stufen erreichten Touren gehören ebenfalls einer geometrischen Reihe an.

Auch die Zeiten, während der auf den einzelnen Stufen stehen zu

Digitized by Google

bleiben ist, bezw. während der die Widerstände w′, w″ ... eingeschaltet bleiben, bilden eine geometrische Reihe nach Fig. 470: O a = t′ = Zeit auf der ersten Stufe, bis die Touren u_1 = a A erreicht (t′ = Einschaltezeit des ersten Widerstandes w′), t″ = a b = Einschaltezeit auf der zweiten Stufe, auf der u_2 = b B erreicht wird etc.; a g = T = Gesamtanlaßzeit; die Abszissen können bei geeignetem Maßstab sowohl die Einschaltezeiten auf den einzelnen Stufen als die Einzelwiderstände w′, w″ ... darstellen. Für die Bemessung des Widerstandsmaterials ist zu beachten, daß die erste Stufe O a = t′ Sek., die zweite O b = t′ + t″ Sek., die dritte O c = t′ + t″ + t‴ Sek. etc. eingeschaltet bleibt. Da der Strom beim Anlassen nicht konstant ist, sondern immer von J_{max} auf

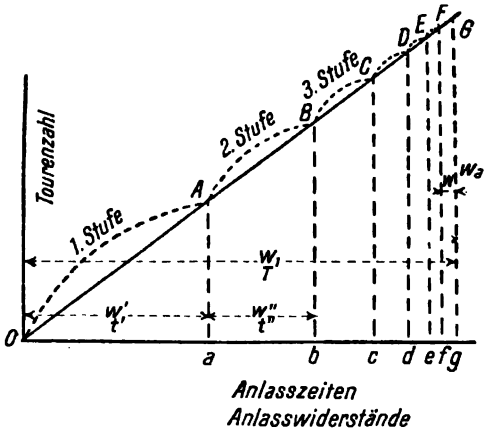


Fig. 470.

J_{min} sinkt, so ist die Drehzahl in Abhängigkeit der Zeit keine Grade (ausgezogen Fig. 470), sondern eine aus Bögen (Fig. 470 gestrichelt) zusammengesetzte Kurve, d. h. die Beschleunigung sinkt und steigt mit dem Strom. Für den Anlasser Fig. 467 sind die ungefähren Zeiten, die der Anlasserhebel auf den einzelnen Stufen bei T = 30 Sekunden gesamter Anlaßzeit[1]) stehen bleibt:

9,4 — 6,4 — 4,4 — 3,1 — 2,2 — 1,7 — 1,3 — 0,9 — 0,6 Sek.

oder aber die einzelnen Widerstände sind eingeschaltet

9,4 — 15,8 — 20,2 — 23,3 — 25,5 — 27,2 — 28,5 — 29,4 — 30,0 Sek.

Die gesamte Anlaßzeit T in Sekunden läßt sich ermitteln aus

$$T = \frac{\omega \Theta}{M_b} = \frac{\omega^2 \Theta}{E_k J_b} 10^{-7}, \quad \ldots \ldots \quad (73)$$

[1]) 30 am Rechenschieber geometrisch in 9 Teile geteilt.

Digitized by Google

falls $\omega = \frac{\pi u}{30}$ die volle Winkelgeschwindigkeit entsprechend der vollen Tourenzahl u ist, Θ = Trägheitsmoment in Gramm-cm², M_b = Beschleunigungsmoment in Dyn-cm, E_k = Klemmenspannung in Volt, J_b = Beschleunigungsstrom in Ampere, d. h. M_b und J_b sind Werte, die zum Beschleunigen übrig bleiben, wenn die Arbeitswiderstände überwunden sind. Schaltet man einen Anlasser mit konstanter Geschwindigkeit ein, d. h. verbleibt man gleiche Zeit auf den einzelnen Stufen, wie das bei automatischen Anlassern die Regel ist, so wird der Anlaßstrom etwa

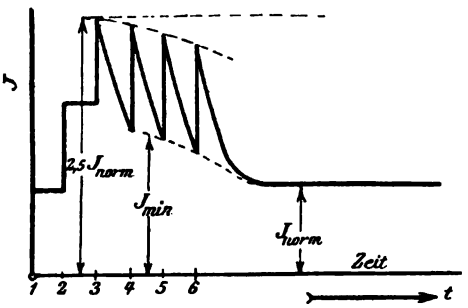


Fig. 471.

nach Fig. 471[1]) verlaufen, wobei zwei Vorstufen vorgesehen sind. — Die auf den einzelnen Stufen erreichten Tourenzahlen bei der Abstufung nach Fig. 467 sind etwa

0 — 450 — 750 — 950 — 1105 — 1215 — 1295 — 1355 — 1395 — 1425
(— 1500 = u_s).

Es mag hier noch eingeschaltet[2]) werden, daß bei Serienmotoren die allgemeinen Ausdrücke für die Tourenzahl und Widerstände auf der m^{ten} Stufe lauten:

$$u_m - u_{m-1} = \left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^{m-1} \cdot u_1, \quad \ldots\ldots \quad (74)$$

$$w_{m-1} - w_m = \left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^{m-2} (w_1 - w_2), \quad \ldots\ldots \quad (75)$$

wobei

$$\lambda = \frac{J_{max}}{J_{min}}, \quad \mu = \frac{\Phi_{max}}{\Phi_{min}} \text{ (Magnetfluxe).}$$

In Fig. 469 hat man für den Serienmotor $u_s = \frac{u_1}{1 - \frac{\mu}{\lambda}}$ zu setzen.

Der Punkt B ist senkrecht nach unten bis B′ zu verschieben, so daß

[1]) H. Mosler, Selbstanlasser.
[2]) Evens, E.T.Z. 1899.

Digitized by Google

$B'C : B'D = \lambda : \mu$. Ist allgemein die Anker-EMK $E = c \cdot u \Phi$ (Φ = Magnetflux), so ist weiter

$$u_1 = \frac{E_k (1 - 1/\lambda)}{c \Phi_{min}} \quad \ldots \ldots \quad (76)$$

$$w_1 = \frac{E_k}{J_{max}}, \; w_2 = w_1 - \frac{c \cdot u_1 \cdot \Phi_{max}}{J_{max}} \quad \ldots \quad (77)$$

Zur Verringerung des Stromstoßes beim Anlassen sowie der Stufenzahl von Nebenschlußmotoren gibt man denselben öfters eine verstärkende Serienwicklung; nach D. R.-P. 133218 kann diese Zusatzerregerwicklung auch an den Klemmen des Anlaßwiderstandes liegen. In manchen Fällen kann man den Anlasser auch dadurch bedeutend reduzieren, daß man den Motor leer anlaufen läßt und erst bei voller Tourenzahl von Hand oder automatisch durch eine Fliehkraftkupplung oder sonstwie mit der Belastung kuppelt. Die Sengelschaltung von Nebenschlußmotoren ergibt bei Anlauf einen doppelt so großen Erregerstrom als bei Lauf, sofern der Anlasser zunächst die ganze Netzspannung absorbiert (Bd. I, S. 112, Fig. 150), auch bei der Sayersschaltung Bd. I, Fig. 149 ist dies der Fall, falls der Nebenschluß vor dem Anlasser abgezweigt wird.

Bei Ermittlung der Stufenzahl s hat man nicht allein Gl. (68) und die Zahl der Vorstufen zur Schonung des Netzes zu beachten, sondern auch die Funkenspannung e_f zwischen zwei Kontakten, die beim Schalten von Stufe zu Stufe auftritt. Es ist zwischen den ersten zwei Stufen

$$e_{f_1} = J_{min} \cdot w' = J_{min} (1 - 1/\lambda) w_1 \quad \ldots \ldots \quad (78)$$

oder allgemein für die m-Stufe

$$e_f = J_{min} (1 - 1/\lambda) w_1 (1/\lambda)^{m-1}, \quad \ldots \ldots \quad (79)$$

d. h. e_{f_1} ist jedenfalls der größte Wert. Ein Anlasser wird also in der Regel an den ersten Stufen mehr feuern als an den letzten. e_f soll allgemein $\leq$ 30 bis 35 Volt bei Strömen unter 100 Ampere und darüber $<$ 15 bis 25 Volt sein; die Zulässigkeitsgrenze hängt sehr von der Ausführung ab, d. h. davon, ob Hilfskontakte zum Funkenziehen, ob Funkenlöscher (Magnete, Oel) vorhanden sind, ob die Schaltbewegung schnappend ist etc. Für die Vorstufen ist e_f ebenfalls zu ermitteln; sind die gesamten Vorstufenwiderstände

$$w'_a, \; w_b, \; w_c \ldots, \text{ so ist } e_{fa} = J_a w'_a - J_a w_b = E_k \left(1 - \frac{w_b}{w_a}\right), \; e_{fb} = E_k \left(1 - \frac{w_c}{w_b}\right), \ldots .$$

es soll deshalb sein

$$\frac{w_b}{w'_a} = \frac{w_c}{w_b} = \frac{w_d}{w_c} \ldots, \quad \ldots \ldots \quad (80)$$

Digitized by Google

d. h. auch die Vorstufen sollten eine geometrische Progression zwischen w'_a und w_1 befolgen. Um Stromstöße und Funkenbildung zu vermeiden,

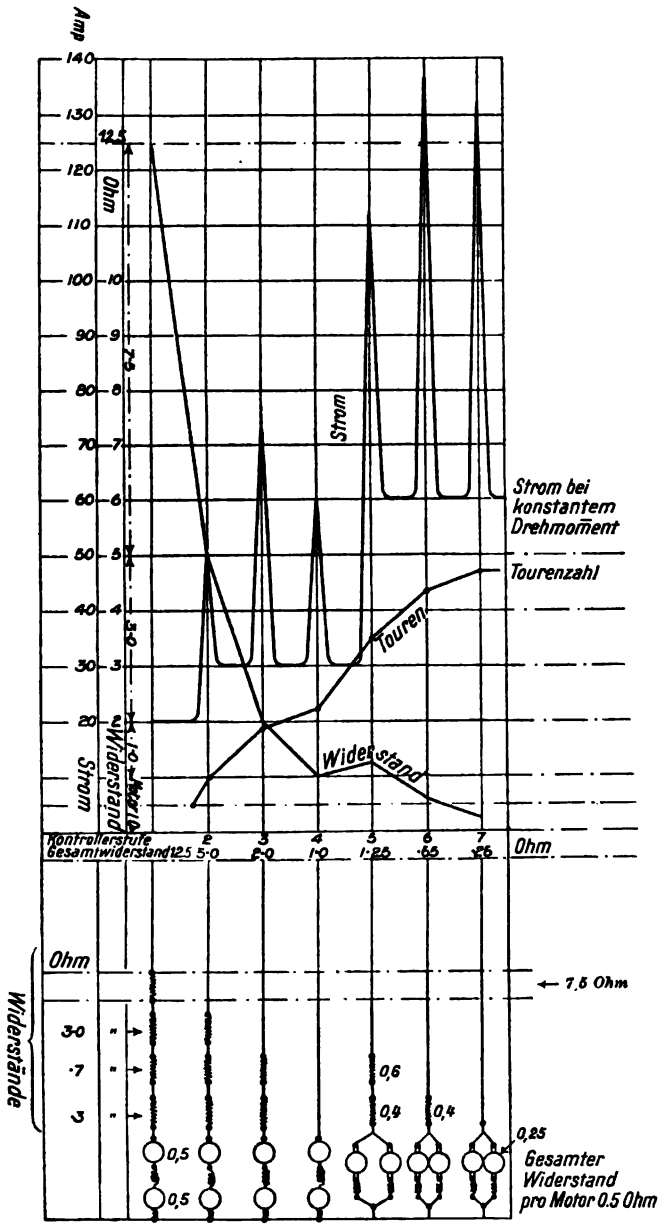


Fig. 472.

ist es wichtig, daß die letzte Stufe, bevor der Motor ganz kurzgeschlossen ist, allmählich genügend klein gegenüber dem Motorwiderstand w_a oder $w_a + w_s$ gemacht wird, siehe auch S. 307 unten.

Digitized by Google

Bei Serienparallelschaltung von Motoren kann die Stufenzahl für Serienschaltung aus Gl. (68) ermittelt werden, wobei $x = \frac{w_1}{2(w_a + w_s)}$ ist, sofern zwei gleiche Motoren verwendet werden. Die Parallelschaltung setzt bereits mit halber Tourenzahl ein, es ist also dafür $w_1 = \infty \frac{E_k}{2 J_{max}}$, falls J_{max} der maximale Strom pro Motor also der halbe Netzstrom ist. Die Widerstände zwischen w_1 und $w_a + w_s$ sind dann wieder geometrisch zu teilen (Stufenzahl wieder aus Gl. (68). Die gesamte Stufenzahl bei

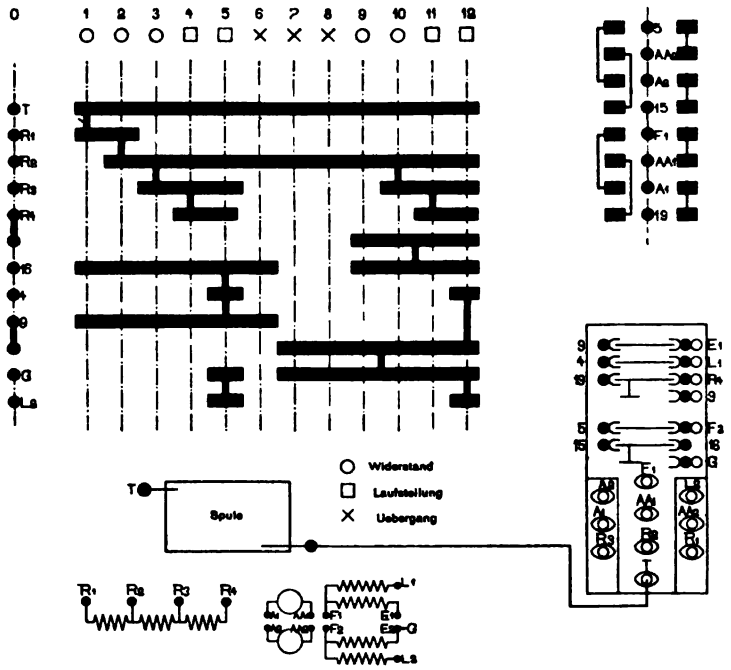


Fig. 473. Union E.-G.

Serienparallelschaltung kann etwas kleiner sein als bei Einmotorenschaltung. Der vollständige Anlaßprozeß bei Serienparallelschaltung zweier Motoren ist aus Fig. 472 [1]) in allen Einzelheiten zu ersehen. Fig. 473 gibt ein komplettes Kontrollerschema für Serienparallelschaltung, die Stellungen 6, 7, 8 werden schnappend rasch übersprungen, dabei erfolgt eine momentane Unterbrechung der Stromzuleitung.

Der Zuwachs an kinetischer Energie pro Stufe ist proportional

$$u_1^2,\ u_1^2 - u_2^2,\ \ldots\quad u_{m-1}^2 - u_m^2,\ \ldots$$

[1]) Gott, Institution Electrical Engineers, Newcastle 1902.

Digitized by Google

oder aber, da allgemein (u_s = volle Tourenzahl bei Leerlauf für Nebenschluß- und Drehstrommotoren):

$$\frac{u_s}{u_s - u_m} = \lambda^m \text{ bezw. } u_m = u_s\left[1 - \left(\frac{1}{\lambda}\right)^m\right],$$

$$u_1^2 = u_s^2\left(1 - \frac{1}{\lambda}\right)^2,\ u_1^2 - u_2^2 = u_s^2\left\{\left(1 - \frac{1}{\lambda}\right)^2 - \left[1 - \left(\frac{1}{\lambda}\right)^2\right]^2\right\} \ldots$$

$$u_{m-1}^2 - u_m^2 = u_s^2\left\{\left[1 - \left(\frac{1}{\lambda}\right)^{m-1}\right]^2 - \left[1 - \left(\frac{1}{\lambda}\right)^m\right]^2\right\} \ldots, \quad (81)$$

d. h. die Energiezunahme pro Stufe wieder immer kleiner.

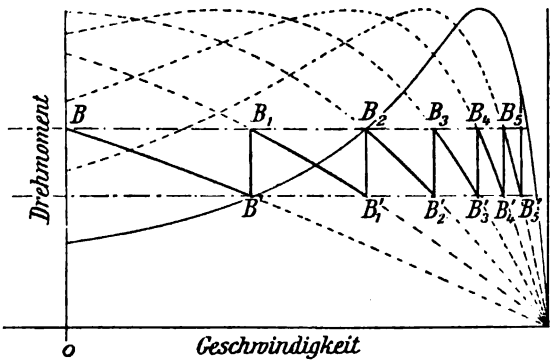


Fig. 474.

Der Verlauf des Drehmomentes eines Drehstrommotors ist in Fig. 474 für den Anlauf als Zickzacklinie $BB'B_1B_1' \ldots$ dargestellt.

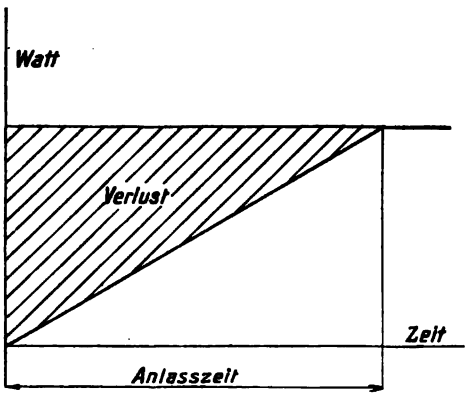


Fig. 475.

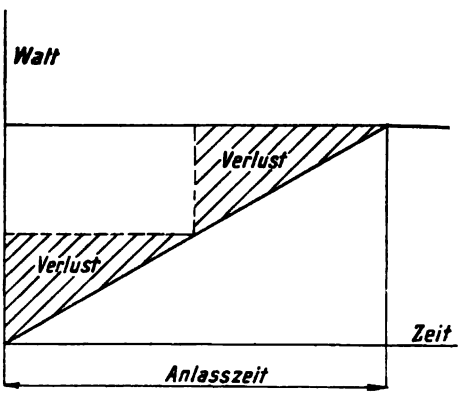


Fig. 476.

Bei der gewöhnlichen Widerstandsschaltung gehen in den Widerständen 50 % der zugeführten Anlaßenergie verloren (Fig. 475), bei Serienparallelschaltung jedoch nur 33 % (Fig. 476). Benötigt ein Motor beim Anlassen zur Ueberwindung der von der Geschwindigkeit unabhängigen

Digitized by Google

Arbeitswiderstände J_A Ampere und zur Beschleunigung J_B Ampere, so ist sein Anfahrverlust bei t Sek. Anlaßzeit $\left(t = \frac{\text{Endgeschwindigkeit}}{\text{Beschleunigung}}\right)$

$$\tfrac{1}{2}\, E_k\, (J_A + J_B)\, t \text{ Watt.} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (82)$$

Erhöht man die Beschleunigung auf das m-fache, so steigt J_B auf $m\,J_B$ und die Anlaßzeit t sinkt auf $\frac{t}{m}$, der Anfahrverlust wird also

$$\tfrac{1}{2}\, E_k\, (J_A + m\, J_B)\, \frac{t}{m}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (83)$$

d. h. er sinkt mit zunehmender Beschleunigung umsomehr je $> J_A/J_B$. Es ist also im Interesse kleiner Anlaßverluste, mit großem Strom anzufahren, dabei lassen sich überdies wegen der verkürzten Anlaßzeit die Anlasser an sich kleiner dimensionieren. Die größtzulässige Anfahrstromstärke hängt jedoch einmal von der Empfindlichkeit des Netzes und dann von der Ueberlastungsfähigkeit des Motors ab [1]).

42. Konstruktion der Anlasser [2]).

Die Dimensionierung der Anlasser ist verschieden, je nachdem die zugehörigen Motoren mit voller oder reduzierter (halber) Last oder aber mit Ueberlast anlaufen; ferner ist die Dauer der Anlaufsperiode von Einfluß; sie wird in der Regel 15 bis 60 Sek. (im Mittel 30 Sek.) betragen, kann aber auf 2 bis 6 Sek. fallen (Anlasser von Aufzügen, Hebezeugen, Rollgängen, Hobelmaschinen) und auf 5 bis 10 Min. (Zentrifugen, Puffermaschinen) steigen. Die Bemessung der Kontakte geschieht in den Metallteilen auf Grund einer Stromdichte von 2 bis 5 Amp./qmm für Kupfer, im End(Dauer-)kontakt mit 1 bis 2 Amp./qmm; für die Kontaktflächen nimmt man etwa die Hälfte. Für andere Metalle nimmt man die Stromdichte proportional $\sqrt{\frac{1}{w_s}}$ kleiner (w_s spezifischer Widerstand). Meist gibt man dem Endkontakt doppelten Querschnitt im Vergleich zu den Schaltkontakten, oder aber der Endkontakt ist ganz besonders als guter Schalterkontakt ausgebildet (Fig. 477 von Cutler Hammer mit Plungerkohlen zum Schalten und Kupferfederkontakt am Ende).

---

[1]) Ueber die Wirtschaftlichkeit beim Anlassen siehe Niethammer, Elektrische Bahnsysteme, S. 58 ff.

[2]) Viele konstruktive Details finden sich in Niethammer, Elektrische Hebezeuge, S. 125 ff., von denen hier nichts wiederholt ist, ferner in Niethammer, Mod. Ges. für den Entwurf elektr. Maschinen und Apparate, S. 129 ff.

Digitized by Google

Die Stromzuleitung zum Schalthebel soll nicht durch die Drehachse, sondern durch besondere Schienen und Bürsten erfolgen. Die Zuleitung von den Widerständen zum Kontaktbrett soll in übersichtlicher Weise

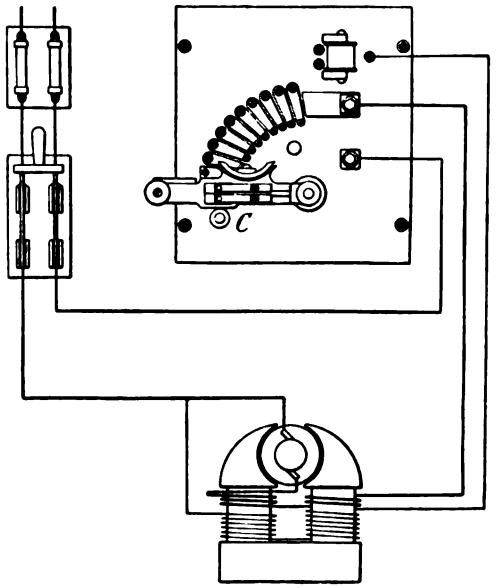


Fig. 477.

mittels feuersicher isolierter Drähte geschehen (Fig. 478). Vor dem Anlaßwiderstand von Nebenschlußmotoren ist der Nebenschluß abzuzweigen.

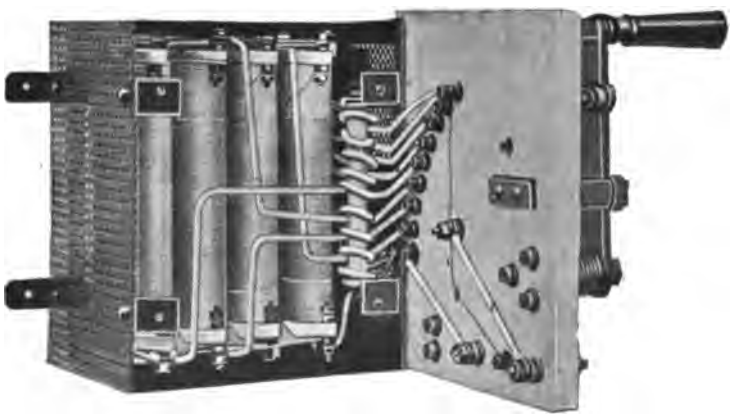


Fig. 478. Helios.

Beim Abschalten sollte der Nebenschluß nicht direkt unterbrochen werden, sondern etwa durch einen funkenziehenden Kohlenschalter, oder aber er ist auf einen parallelen Widerstand, eventuell auch auf den Anker

Digitized by Google

kurzzuschließen; siehe die verschiedenen Anordnungen Fig. 466, 479, 480. Fig. 480 von Klöckner-Köln gilt für eine Dreileiteranlage, w ist der Widerstand zur Aufnahme des Nebenschlußextrastroms; Fig. 479 besitzt Nebenschlußregulierung, wobei Klöckner eine federnde Zunge a vorgesehen hat, die in der Endstellung von h zur Hintereinanderschaltung des Ankers m mit dem Widerstand r und dem Feld f niedergepreßt wird (D. R.-P. 114232).

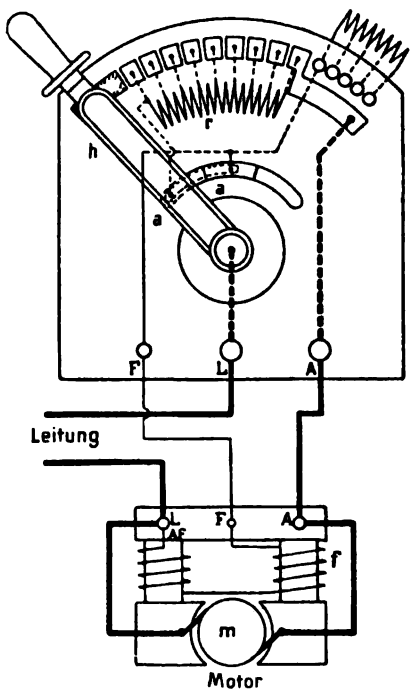


Fig. 479.

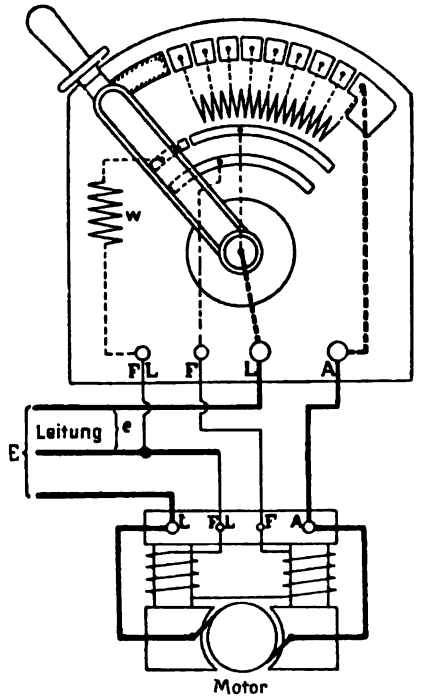


Fig. 480.

Für die Ausbildung und Befestigung der festen Kontakte aus Messing oder Kupfer können die Fig. 477, 481 u. 482 Anhaltspunkte geben. Als Gleitkontakt kommen in Frage: federndes Flachmessing (Fig. 482b), das aber auf eine lange Strecke federn und gut eingeschliffen sein muß, dann Federn aus dünnen Kupferlamellen (Fig. 483, 482a u. g), ferner Druckfinger (Fig. 484, 485 u. 482c), Metallrollen, die auf Kohlenkontakten rollen, und Kohlenklötze, häufig Plungerkohlen (Fig. 477, 486 u. 482i). In Richtung senkrecht zur Papierebene sind die Finger f Fig. 485 stark unterteilt. Zur Vermeidung von Funkenbildung[1]) an den

[1]) Die Siemens-Schuckert-Werke bauen außer den gewöhnlichen Anlassern 1. solche mit stufenweiser Funkenentziehung und verlangsamter Schaltbewegung, wobei die Funken nur an einem Kohlenschalter auftreten und die Hauptkontaktfeder

Digitized by Google

Hauptkontakten werden bei größeren Anlassern besondere leicht ersetzbare Hilfskontakte aus Kohle oder Metall (Fig. 482i u. 482a) vorgesehen;

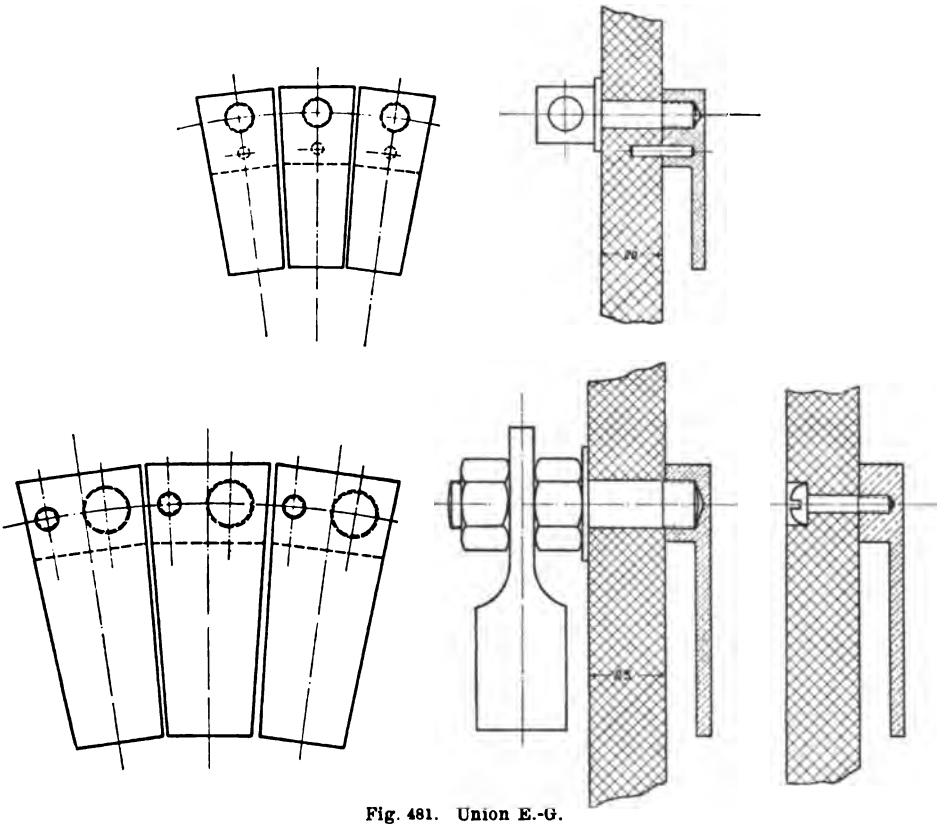


Fig. 481. Union E.-G.

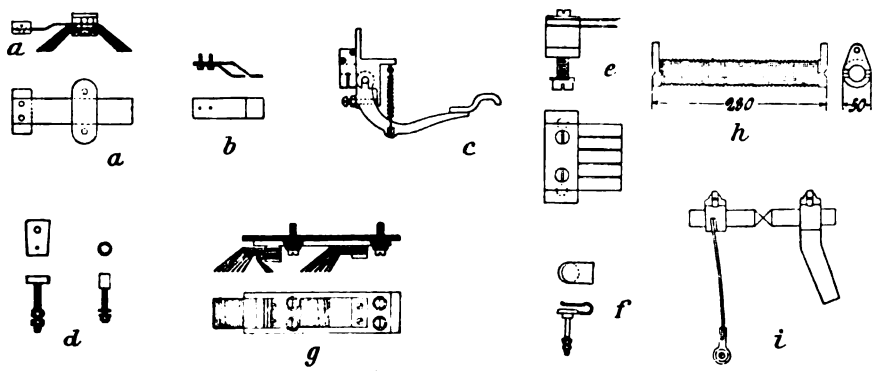


Fig. 482. Helios.

erst die Stromführung übernimmt, wenn sie den Kontakt schon zur Hälfte bedeckt (D. R.-P. 114234);

2. Anlasser mit ruckweiser Einschaltung, wobei mittels Klinke und Kerbenrad langsam geschaltet wird.

Digitized by Google

es gilt dies besonders für die letzte Stromunterbrechung, wofür wohl auch ein zwangsläufig bewegter Schnappschalter mit Funkenlöschung

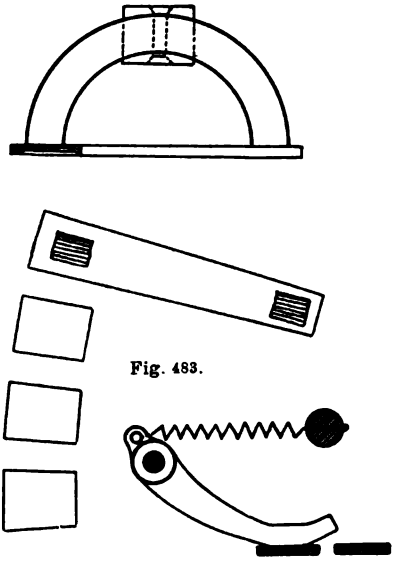


Fig. 483.

Fig. 484.

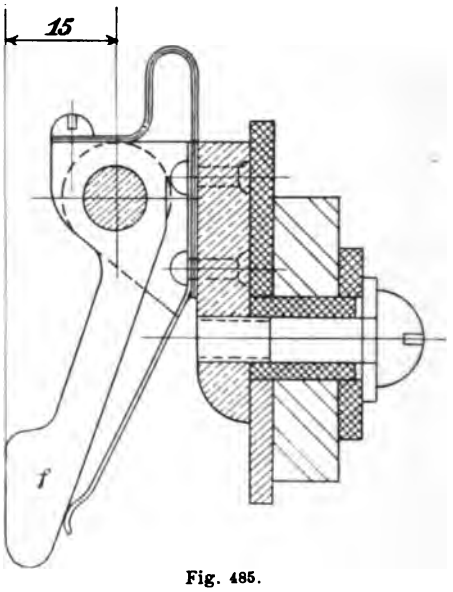


Fig. 485.

benützt wird (Fig. 486). Um zu vermeiden, daß der Schalthebel zwischen zwei Kontakten längere Zeit stehen bleibt, kann man entweder eine von

Fig. 486.

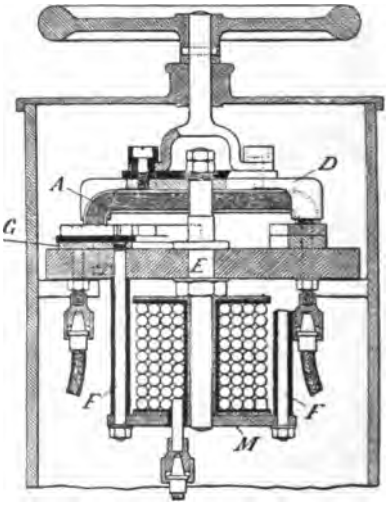


Fig. 487.

Kontakt zu Kontakt wirkende Schnappbewegung ähnlich Fig. 455 oder eine Schaltung mit Sperrrad und Sperrklinke verwenden. In Fig. 487

Digitized by Google

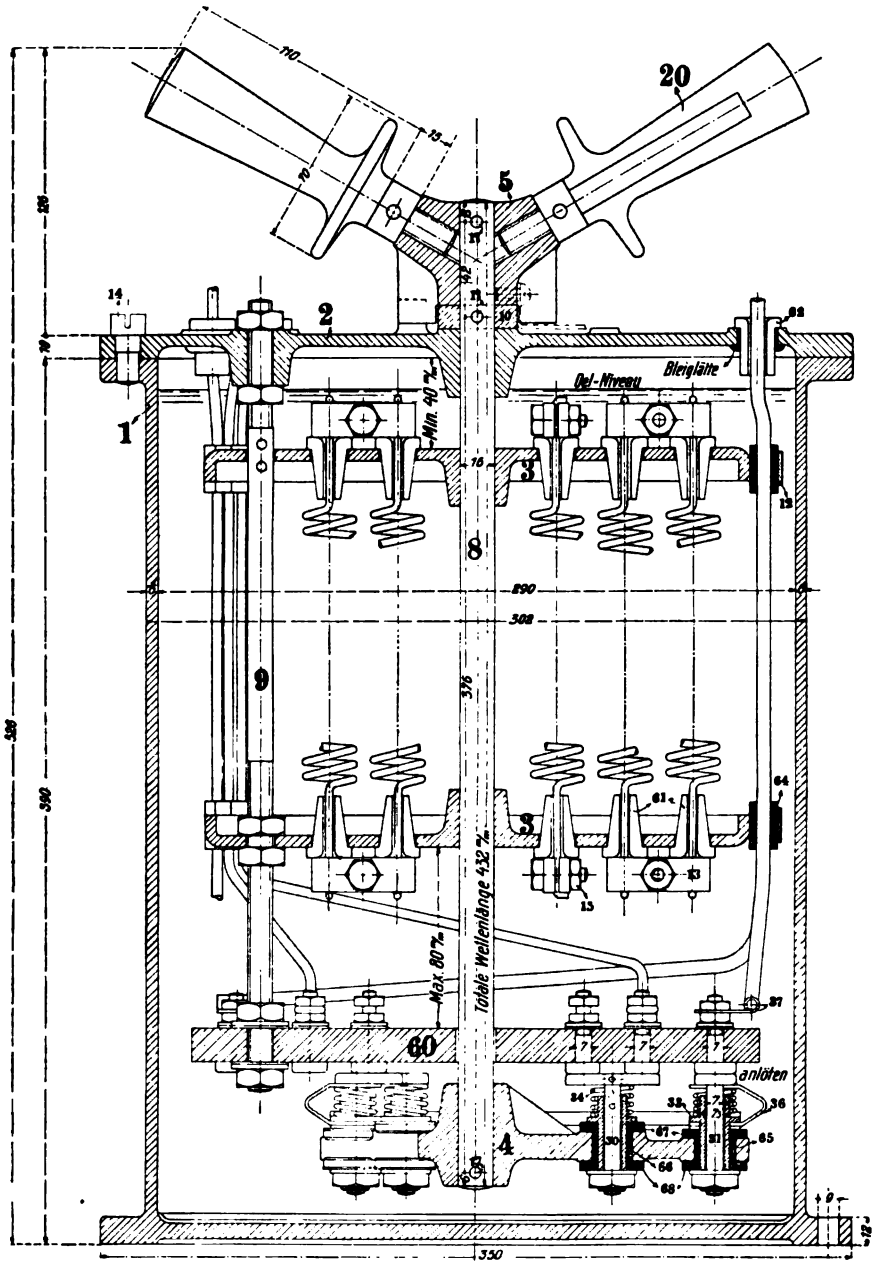


Fig. 488. Oelanlasser von Brown, Boveri & Co.

ist eine allen Kontakten gemeinsame Funkenlöschspule M vorgesehen, zur Erzielung eines guten magnetischen Schlusses ist die geblätterte Kupferbürste A mittels eines Eisenstückes D gefaßt (Hopkinson & Wood). Schließlich läßt sich die Funkenbildung an den Kontakten

Digitized by Google

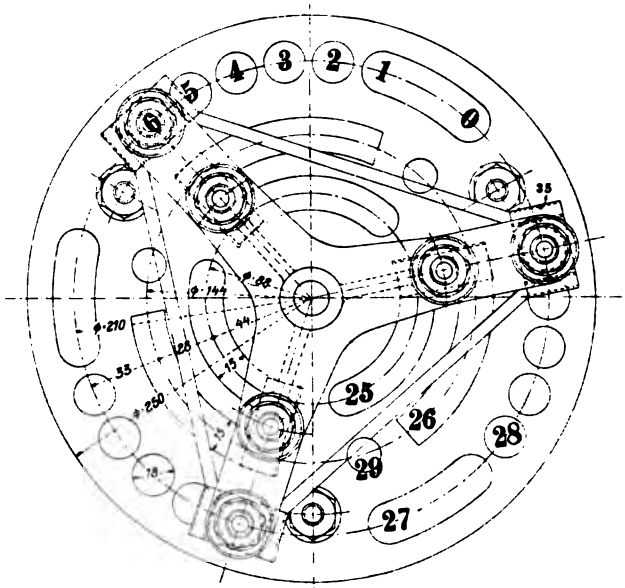


Fig. 488a. Oelanlasser von Brown, Boveri & Co.

dadurch hintanhalten, daß die Kontaktplatte unter Oel gelegt wird (Fig. 488 u. 488a von Brown, Boveri & Co.). Auch durch mehrfache Unter-

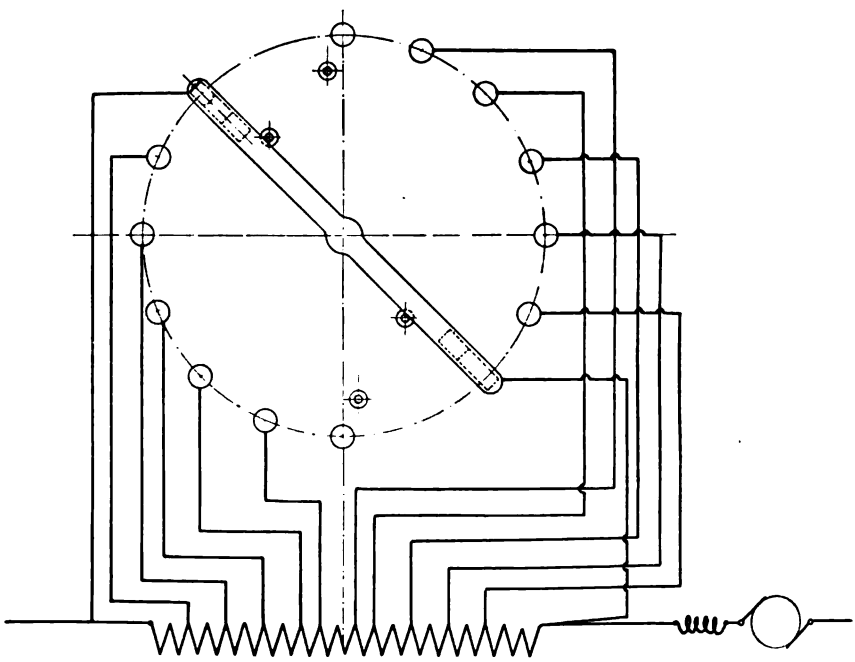


Fig. 489.

Digitized by Google

brechung derselben Leitung ist der Abreißfunken zu verkleinern. Die Stromunterbrechung ist möglichst so zu legen, daß der Lichtbogen nicht auf andere Kontakte überspringen kann und daß er leicht nach oben abreißen kann, d. h. die Kontakte sollen sich horizontal, nicht vertikal voneinander entfernen; im letzten Fall muß die Ausschaltelänge bedeutend größer sein. Bei Drehstrom reißt der Lichtbogen leichter ab, so daß die Ausschaltelänge nur $^1/_2$ bis $^1/_3$ der von Gleichstrom sein kann.

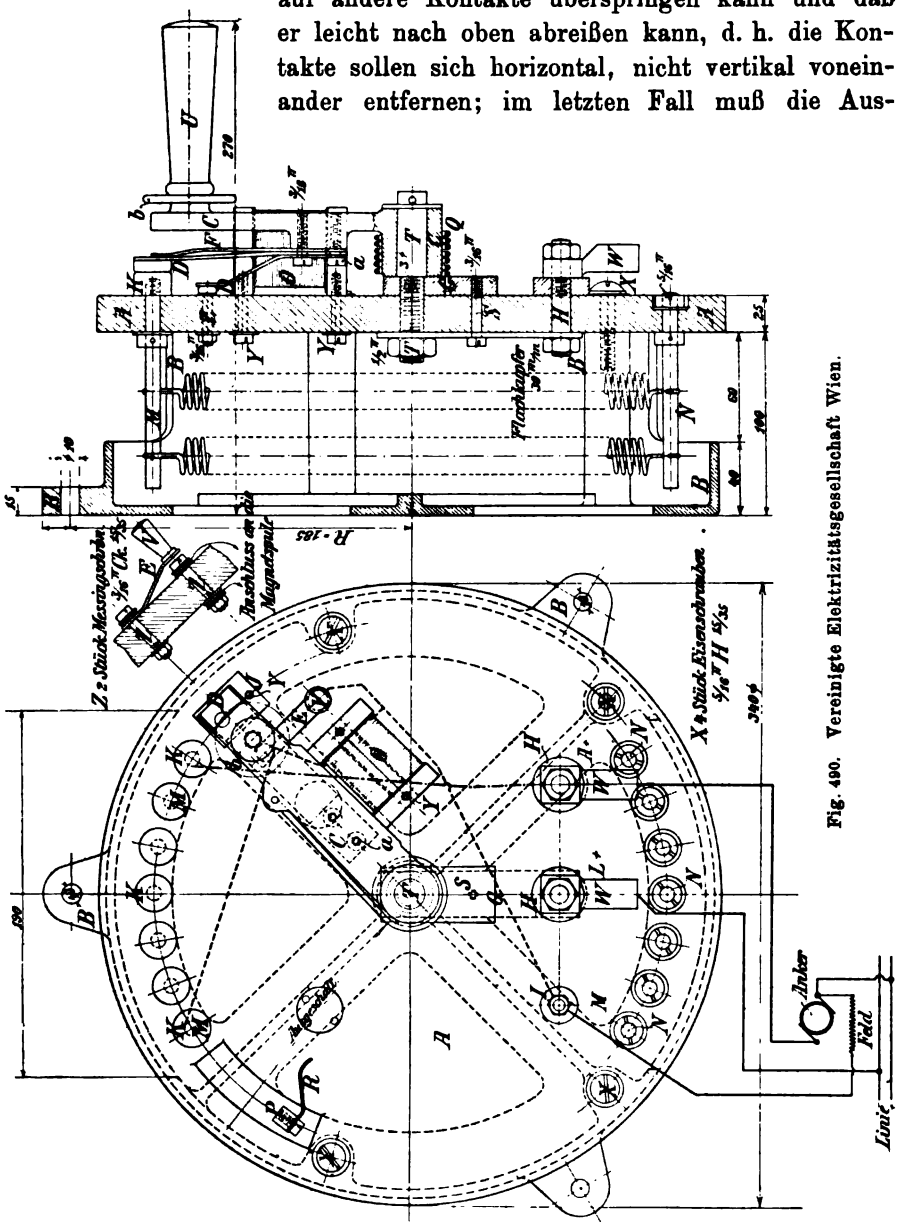


Fig. 490. Vereinigte Elektrizitätsgesellschaft Wien.

Digitized by Google

Alle der Abnützung unterworfenen Teile müssen rasch und leicht auswechselbar sein.

Der Hub der Schalthebel ist durch Anschlagstifte zu begrenzen; um Stöße beim Aufschlagen des Hebels zu vermeiden, überzieht man diesen Stift mit einem Gummipuffer oder bringt an demselben eine Blatt- oder Spiralfeder zur Dämpfung an (Fig. 477 C u. 490).

Für die Schaltung der Widerstandsstufen gibt es zwei verschiedene Methoden: Man kann die einzelnen Stufen nach und nach abschalten (ausschalten) oder sie nach und nach kurzschließen. Die erste Methode ist z. B. aus Fig. 479 zu ersehen, die zweite aus Fig. 489 u. 486. Während die erste Type meist Schleif- oder Gleitkontakte besitzt, zeigt die zweite vielfach Druckkontakte, z. B. Kohle auf Kohle oder besser Kupfer auf Kohle (siehe „Kohlenanlasser"). Bei Druckkontakten der Kurzschlußschaltung (Fig. 486) ist der Schaltweg wesentlich geringer als bei Schleifkontakten. Kohlenklötze als Kontakte, die man zweckmäßig elektrolytisch verkupfert, verschmoren bei Funkenbildung nicht wie Metallkontakte, die sich festfressen können. Die Belastung der Kohle soll etwa 0,1 bis 0,2 Amp./qmm sein, der Uebergangswiderstand ist für Kohle etwa 0,02 bis 0,05 Ohm pro c^2, wenn die Kontakte gut aufeinander gepreßt sind (100 bis 200 g pro c^2), bei Metall auf Metall ist er nur $^1/_5$ bis $^1/_{10}$ davon.

Der konstruktive Aufbau einer kleineren Anlassertype der Vereinigten Elektrizitätsgesellschaft Wien ist aus Fig. 490 ersichtlich. Die Spiralen sind zwischen Stiften gespannt, die verlängert in die runden Kontakte übergehen. Der Widerstand sitzt in einem Gußkasten und auf Stützen desselben ist die Kontaktplatte aufgeschraubt. Im übrigen gibt die nachstehende Stückliste Auskunft:

Stückliste.

Pos.	Stück	Gegenstand	Material
A	1	Grundplatte 340 mm ϕ	Porzellan
B	1	Widerstandskasten, Mod. Nr. A $^3/_1$	Gußeisen
C	1	Kontakthebel Mod. Nr. A $^3/_2$	„
D	1	Kontaktfeder	Kupfer
E	1	Nebenschlußkontaktfeder	Messingblech
F	1	Stahlfeder 1 mm stark	Stahl
G	1	Anschlußschiene 30 × 10	Flachmessing
H	2	Anschlußstücke	Rundmessing
I	1	Feldanschluß	„
J	1	Kurzschlußkontakt	„

Digitized by Google

Pos.	Stück	Gegenstand	Material
K	7	Kontaktknöpfe ϕ 20	Rundmessing
L	1	Spiralenhalter ϕ 8	Rundkupfer
M	7	„ „ 8	Rundeisen
N	7	„ „ 8	„
O	1	Magnet 40 × 10	Flacheisen
P	1	Anschlag	Schmiedeisen
Q	1	Spiralfeder ϕ 3 mm	Stahldraht
R	1	Anschlagfeder	Stahlblech
S	1	Schraube $^3/_{16}$" CK $^{16}/_{32}$	Schmiedeisen
T	1	Drehbolzen	Rundmessing
U	1	Porzellanheft Nr. III mit	Schmiedeisenbolzen
V	1	Holzheft	Hartholz
W	2	Kabelmuffe Nr. 7	normal
X	4	Befestigungsschrauben $^5/_{16}$"	Eisen
Y	3	„ $^3/_{16}$"	„
Z	2	Anschlußschrauben $^3/_{16}$"	„
a	2	Messingschrauben $^5/_{16}$"	ca. 20 mm lang
b	1	Stabilitscheibe	
c	4	Aufschrifttafeln	

Einen recht einfachen und soliden Aufbau eines größeren Anlasserkastens aus Winkel- und Flacheisen gibt die Fig. 491 (Russische Union). Die Bleche sind unter sich vernietet, die Widerstandsröhren sind an querliegenden Flacheisen angenietet.

Für Umkehrmotoren[1]) wird häufig der Anlasser mit dem Umschalter nach Fig. 492[2]) (Klöckner-Köln) kombiniert. Durch einen Sperrstift ist dafür zu sorgen, daß bei der Umschaltung von einer Grenzstellung zur anderen in der Mittelstellung so lange gewartet wird, bis der dazugehörige Motor annähernd zum Stillstand gekommen ist. Man kann die Umsteuerung auch durch ein Relais verriegeln lassen, das an den Ankerklemmen liegt: Fig. 493 von Levy-Berlin; der Magnet m, der von den Ankerklemmen erregt wird, gestattet der Feder f, den verriegelnden Stift erst nach außen zu werfen, wenn die Ankerspannung angenähert Null ist. In Fig. 493 wird das Feld kurz vor dem Umschalten auf den Anker kurzgeschlossen. Nach Fig. 494 bis 496 kombinieren die Siemens-Schuckert-Werke Wien ihre Gleichstromwendeanlasser für 40 PS aus einem gewöhnlichen Oelanlasser und einem seitlich angebrachten Umschalter. Der Umschalter ist derart verriegelt,

[1]) Es ist zu beachten, daß Wendeanlasser mehr beansprucht sind als einfache Anlasser, sie sind deshalb reichlicher zu bemessen.

[2]) Der zu Fig. 492 gehörige Wendeanlasser ist in Fig. 397 bis 399 dargestellt.

Digitized by Google

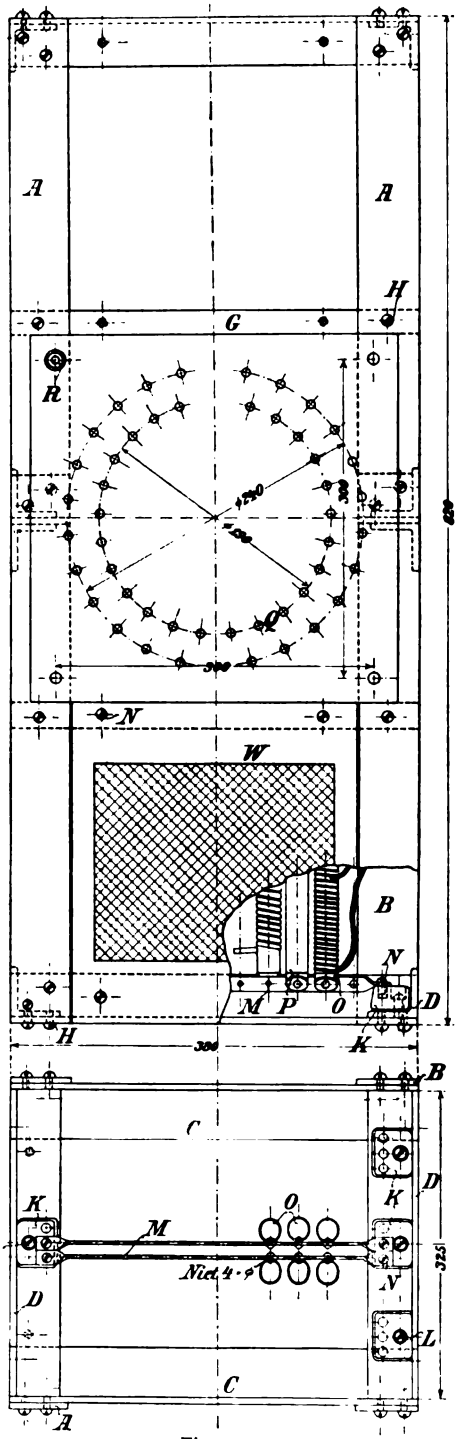


Fig. 491.

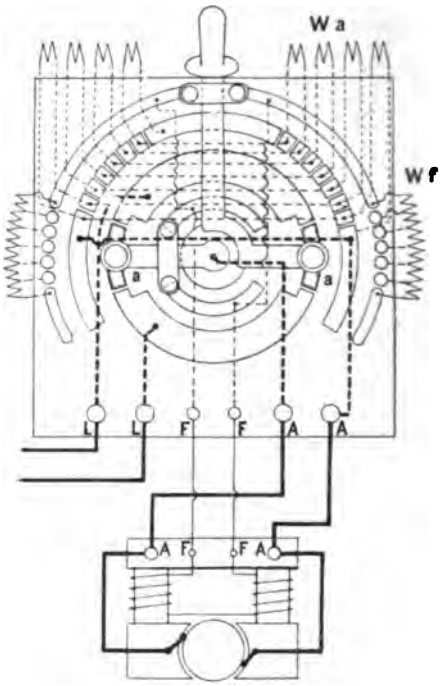


Fig. 492.

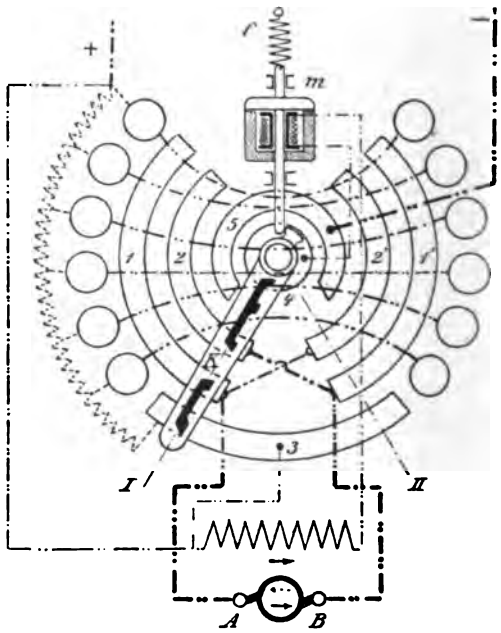


Fig. 493.

Digitized by Google

daß er nur betätigt werden kann, wenn der Anlasser in der Ausschaltestellung steht. Diese Schuckertsche Anlassertype hat sich in der Praxis vorzüglich bewährt. Man beachte den Zusammenbau des Gerüstes für

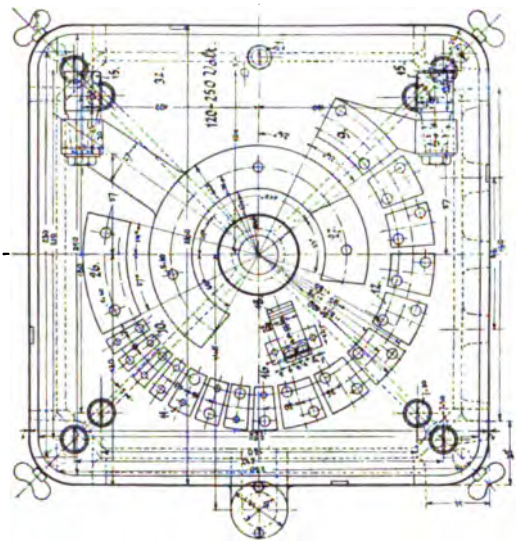


Fig. 495.

Siemens-Schuckert-Werke
Wien.

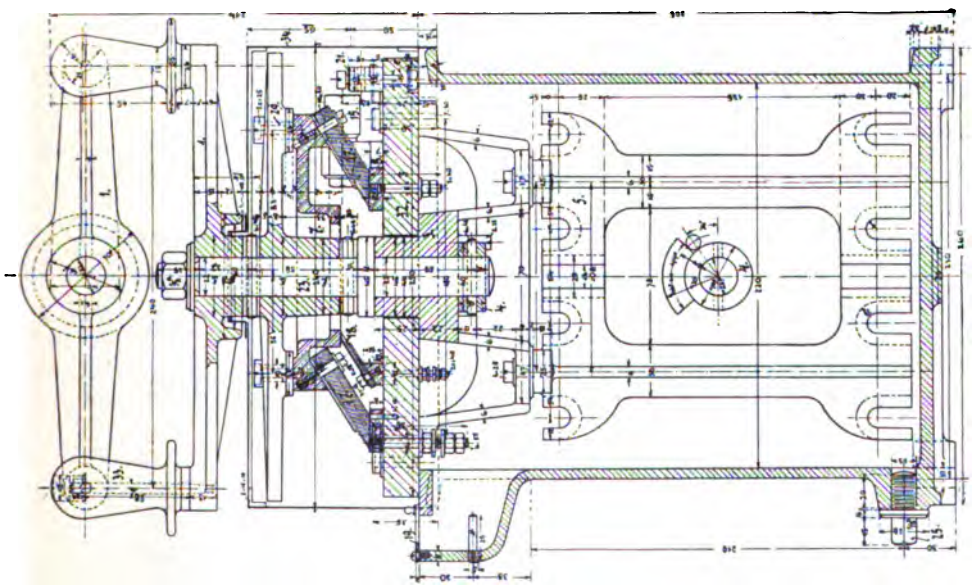


Fig. 494.

die Widerstandsspiralen mit dem Kontaktbrett, beides zusammen kann in sehr einfacher Weise aus dem Oeltopf herausgenommen werden. Die einzelnen Teile des Anlassers gehen aus folgender Stückliste hervor:

Digitized by Google

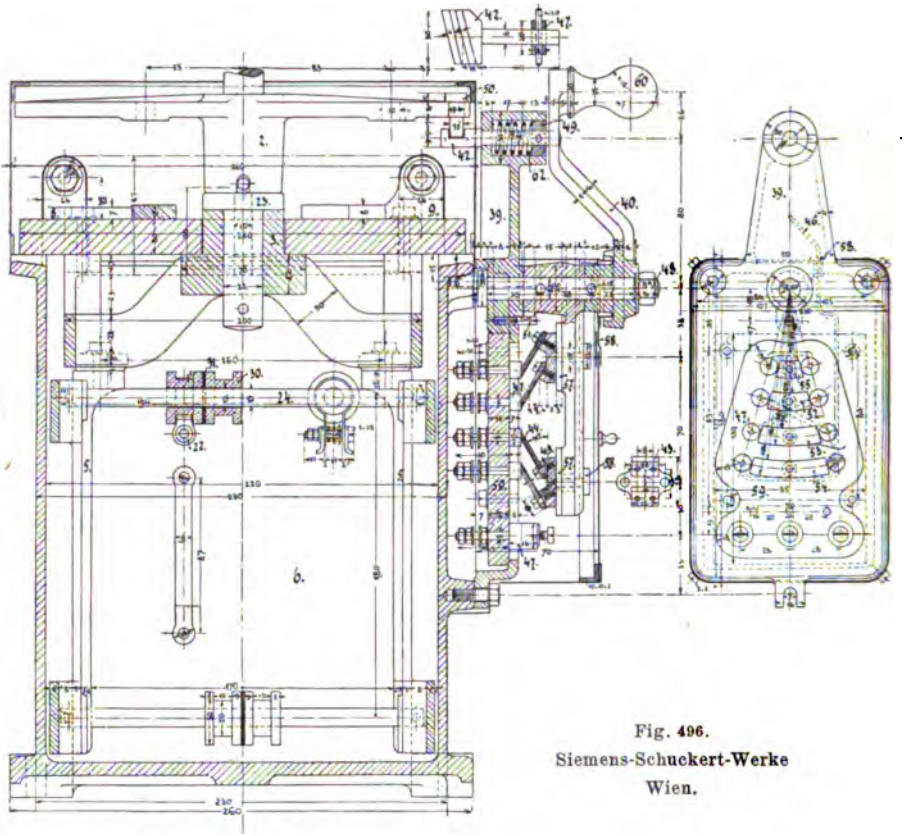


Fig. 496.
Siemens-Schuckert-Werke
Wien.

Stückliste.

Pos.	Stück	Gegenstand	Material
		a) Anlasser	
1	1	Handkurbel	Gußeisen
2	1	Kontakthebel	„
3	1	Nabe mit Traverse und schmiedeis. Anschlag	„
4	1	Anschlagstück	„
5	2	Rahmen für Spiralen	„
6	1	Oeltopf mit Oelstandstift	„
7	1	Federfassung	Kupferguß
8	1	Hauptstromschiene	Rotguß
9	1	Schlußkontakt	„
10	4	Kontakte I	„
11	4	„ II } für 120 bis 250 Volt	„
12	7	„ III	„

Digitized by Google

Pos.	Stück	Gegenstand	Material
13	18	Kontakte I } für 300 bis 500 Volt	Rotguß
14	6	„ II }	
15	2	Kabelösen (Bohrung nach Stromstärke) . .	„
16	1	Nebenschlußfederfassung	„
17	2	Federgarnituren	Kupfer
18	1	Nebenschlußfedergarnitur	„
19	1	Oelangußdeckel mit Knopf und Schraube . .	Messing
21	1	Nebenschlußklemme	„
22	64	Bänder mit Schrauben und Distanzrohre . .	„
23	1	Zapfen mit Bund, Mutter, Scheibe und Stifte	Schmiedeisen
24	8	Querstangen mit Stift	„
25	1	Oelablaßschraube mit Bleidichtung	„
26	1	Füllstück	Stabilit
27	1	„	„
29	4	Isolierhülsen	„
30	64	Isolierrollen	Porzellan
31	56	Zwischenlagen	Asbest
32	1	Kontaktplatte 20 × 250 × 250	Schiefer
33	2	Handgriffe mit Eisenstift	Holz
34	1	Schutzkasten	Schwarzblech
35	4	Flügelschrauben	Schmiedeisen
36	div.	Schrauben, Scheiben etc.	
		b) Umschalter	
39	1	Grundplatte	Gußeisen
40	1	Handhebel	„
41	1	Kontakthebel	„
42	1	Sperrstift	Sil. Bronze
43	2	Federfassungen	Rotguß
44	4	Federgarnituren	Kupfer
45	3	Kabelösen mit Anschlußklemmen	Messing
46	1	Verbindungsdraht	Kupfer
47	8	Kontakte mit Schrauben und Muttern . . .	Messing
48	1	Drehzapfen mit Mutter, Scheibe und Stift .	Schmiedeisen
49	1	Führungsring mit Stift	„
50	1	Auslösestift	„
51	1	Anschlagstift	„
52	1	Füllstück	Stabilit
53	1	„	„
54	1	„	„
55	1	„	„
57	2	Platten	„
58	5	Isolierhülsen	„
59	1	Platte 12 × 85 × 130	Schiefer
60	1	Handgriff mit Eisenstift	Holz
61	1	Schutzkasten	Schwarzblech
62	1	Spiralfeder	Stahldraht
63	div.	Schrauben, Scheiben etc.	

Digitized by Google

Um für Drehstromanlasser an Platz für Kontakte zu sparen, kann man die zwei oder drei Kontaktreihen der zwei oder drei Rotorphasen konzentrisch ineinander anordnen (Fig. 497 von Dr. Max Levy-Berlin).

Fig. 497.

In empfindlichen Drehstromnetzen werden öfters zum Anlassen von Motoren mit Kurzschlußanker Primäranlasser nach Fig. 498 (Klöckner-Köln) verlangt, obwohl ein einspuliger Anlaßtransformator (Kompensator) das Anlassen in günstigerer Weise besorgen würde. Ein einfacher Umkehranlasser für Drehstrommotoren muß nach Fig. 499 (Klöckner-Köln) sowohl zwei Netz- und zwei Statorzuleitungen als auch drei Rotorverbindungen besitzen. Diese gedrängte Anordnung ist indes nur für Spannungen unter 500 Volt und kleine Leistungen angängig. Für angestrengte Betriebe trennt man den Umschalter und den Anlasser etwa nach Tafel XIII, einer Ausführung der Vereinigten Elektrizitätsgesellschaft Wien, die sich z. B. für Aufzüge eignet. Zunächst wird das Handrad G mit 30° totem Gang

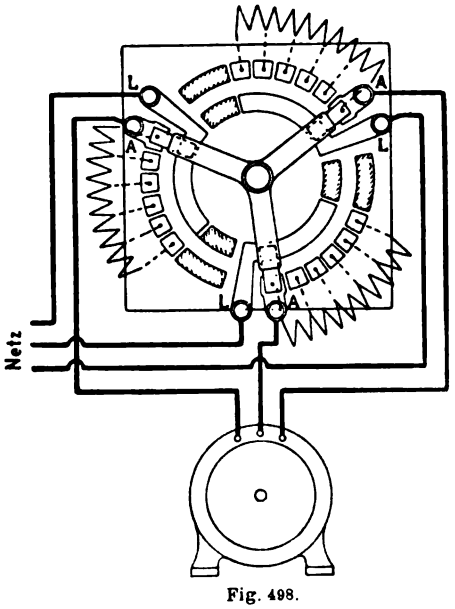


Fig. 498.

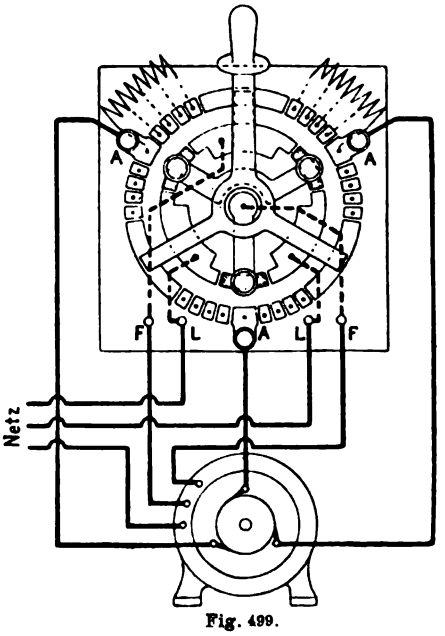


Fig. 499.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

nach einer Seite gedreht, dann schließen sich nacheinander und zwar mittels der Rollen q und y zwei Statorphasen — die dritte geht direkt zum Motor —, nun springt die Anschlagrolle m am Hebel b in den ersten Zahn des Sperrrades D ein. Vermittels des Kurbelgestänges C F d E wird hierauf der dreiarmige Anlasserhebel rascher und rascher bewegt, wobei jeder Kontakt durch eine Kerbe in D markiert ist. Der Aufbau des sehr beachtenswerten Anlaß- und Reversierapparates erhellt aus folgender Stückliste:

Pos.	Stück	Gegenstand	Material	Pos.	Stück	Gegenstand	Material
A	1	Platte 450 × 280 × 25	Marmor	a	1	Feder 1,5 stark . .	Messing
B	1	Klemmleiste 300 × 70 × 20 .	„	b	1	Stange	Schmiedeisen
				c	1	„	„
C	1	Gußgehäuse . . .	Gußeisen	d	1	„	„
D	1	Arret. Scheibe . .	„	e	1	Bolzen samt 1 Mutter $^5/_{16}$"	„
E	1	Hebel	„				
F	1	„	„	f	2	Bolzen samt je 1 Mutter $^5/_{16}$"	„
G	1	„	„				
H	1	„	„	g	2	Bolzen samt je 1 Mutter $^5/_{16}$"	„
I	2	Kontaktsegmente .	Messingguß				
J	2	„ .	„	h	1	Bolzen $^3/_8$"	„
K	1	Ring	„	i	1	Bolzen samt 1 Mutter $^3/_8$"	„
L	1	Hebel	„				
M	3	Kontakte	„	j	1	Welle, 2 Keile 6 × 8	„
N	24	„	„	k	1	„ 3 „ 6 × 8	„
O	5	Bolzen samt je 2 Muttern $^1/_4$"	Rundmessing	l	1	Bolzen samt Unterlagsch. u. Splint .	Stahl
P	4	Bolzen samt je 4 Muttern $^1/_4$"	„	m	1	Rolle	„
				n	1	Spiralfeder 2 mm st.	„
Q	24	Bolzen samt je 2 Muttern $^3/_{16}$"	„	o	2	Bürsten aus je 10 Blechen à 0,5 mm st.	Kupfer
R	3	Bolzen samt je 2 Muttern $^5/_{16}$"	„	p	6	Federn 2 mm stark .	„
				q	1	Rolle	„
S	3	Bolzen samt je 4 Muttern $^5/_{16}$"	„	r	2	Isolierstücke . . .	Stabilit
				s	2	Platten	„
T	2	Abbrennkontakte .	„	t	4	Röhren	„
U	2	Platten 4 mm stark .	„	u	3	Isolierstücke . . .	„
V	2	Abbrennkontakte .	„	v	8	Bolzen samt je 1 Mutter $^3/_{16}$"	Messing
W	2	Platten 4 mm stark .	„				
X	3	„ 4 „ „ .	„	w	2	Hefte	Holz
Y	3	„ 2 „ „ .	„	x	38	Schrauben $^5/_{32}$" . .	Schmiedeisen
Z	6	Klötze	„	y	1	Rolle	Kupfer
				z	1	Feder 1,5 mm stark .	Messing
b_1 b_2		Perforierte Bleche grobe Perforierung	Schmiedeisen	a_1	6	„ $^5/_{32}$"	„

Digitized by Google

In gewissen Anlagen empfiehlt es sich, die Anlasserkontakte nach Fig. 500 (Klöckner-Köln) abzudecken, unterhalb der Stufenschalter sitzt

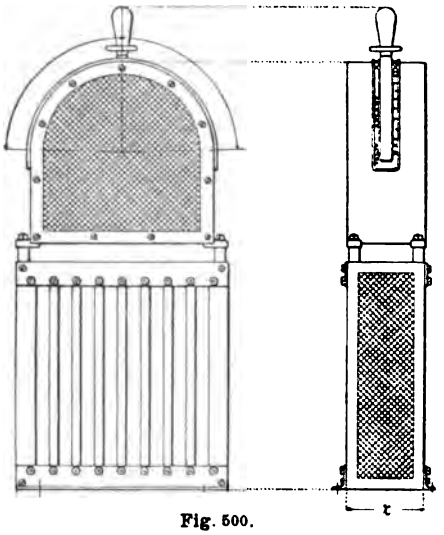


Fig. 500.

der Widerstandskasten. Es ist indes anzuraten, die Kontakte eventuell durch eine Glasplatte sichtbar zu lassen.

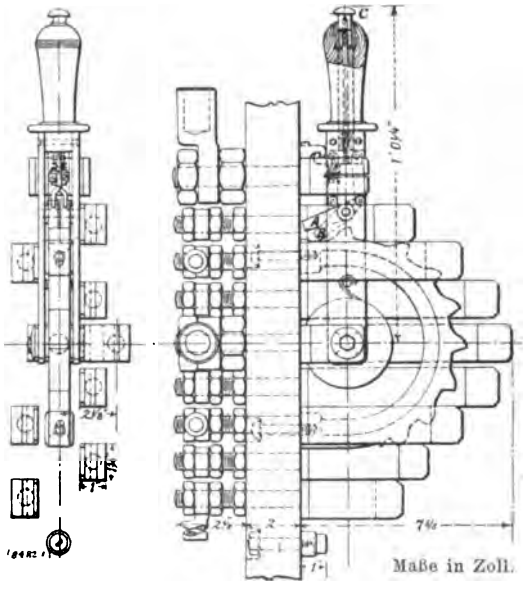


Fig. 501. Wendeanlaßschalter.

Ein bemerkenswerter Anlasser wird von der General Electric Co. Schenectady nach Fig. 501 als mehrfacher Messerschalter ausgeführt.

Digitized by Google

Er hat die Eigenschaft, daß er durch eine Torsionsfeder immer in die Mittelstellung geschleudert wird, sofern er nicht festgehalten oder am Ende eingeklinkt wird. Ein Druckknopf c am Handgriff gestattet, den Hebel auszuklinken; durch Niederdrücken von c hebt man überdies die Sperrklinken AB über die eingezeichneten Zähne weg.

Um Motoren davor zu schützen, daß sie bei plötzlich ausbleibender Netzspannung zum Stillstand kommen und dann ohne Vorschaltwider-

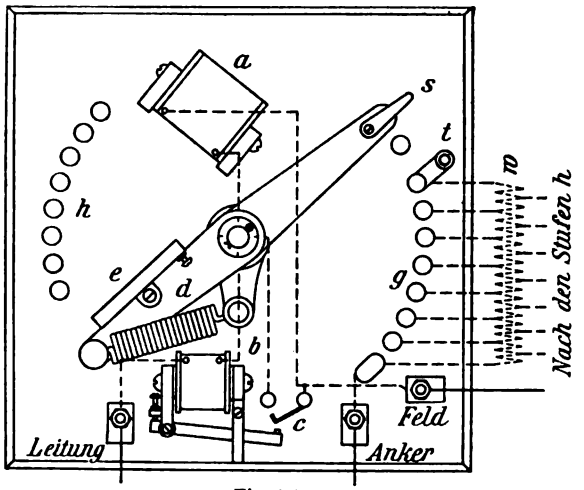


Fig. 502.

stand wieder eingeschaltet werden, versieht man sie vielfach mit einem Spannungs- oder Nebenschlußrelais a[1]) (Fig. 502, General Electric Co.

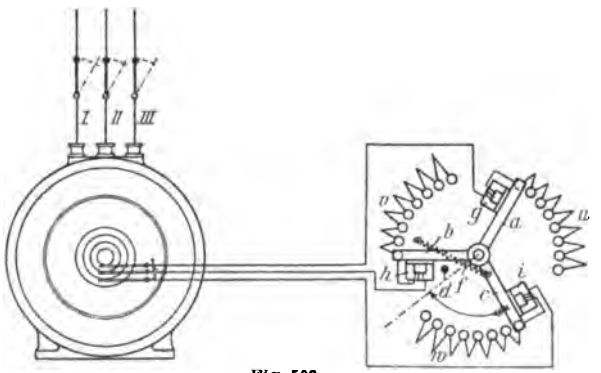


Fig. 503.

Schenectady), das den Schalthebel nur so lange in der Endstellung festhält, als Spannung am Motor vorhanden ist. Bleibt die Spannung aus, so schnellt eine Spiral- oder Torsionsfeder den Schalthebel in die

[1]) Siehe auch D. R.-P. 141397 von Ganz & Co.

Digitized by Google

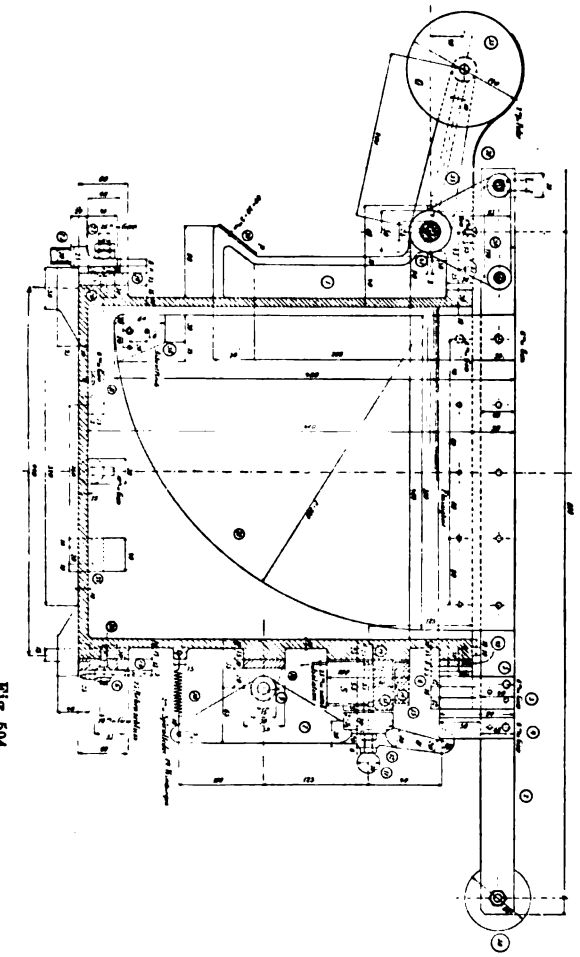
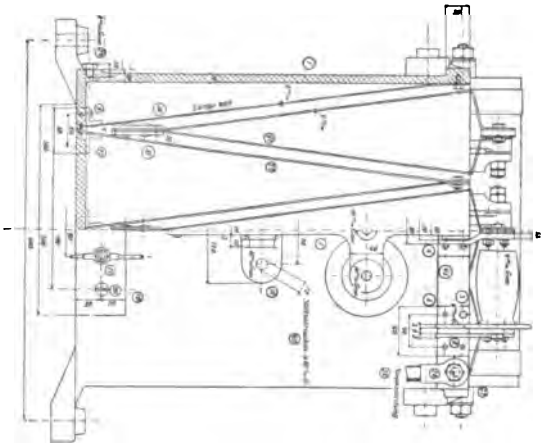


Fig. 504.



Ausschaltstellung zurück. Dieselbe Ausschaltebewegung kann auch durch ein Ueberlastrelais b (Fig. 502) bewirkt werden, das den Stromkreis von a kurzschließt. An Fig. 502 ist die doppelte Kontaktreihe und der Funkenzieher st zu beachten. Die konstruktive Durchbildung des Spannungsrelais zeigt am besten Fig. 490, zum Ausschalten kann man den Druckknopf v benützen, der die Relaisspule kurzschließt. Zur Erhöhung der Betriebssicherheit legt die Cutler Hammer Co. die Relaisspule nicht in den Nebenschlußkreis des Motors, sondern in einen besonderen an der Netzspannung liegenden Stromkreis. Solche Ausschalterelais, die beim Ausbleiben der Spannung funktionieren, sollte man auch in die Rotorleitungen von Drehstrommotoren legen (Fig. 503 D. R.-P. 122729). Auch Flüssigkeitsanlasser sind mit einer Spannungsspule zu versehen, welche beim Ausbleiben der Spannung die beweglichen Elektroden einem

Digitized by Google

Gewicht freigibt (Fig. 504). — Die Beanspruchung des Drahtes dieser Relaisspulen kann 3 bis 4 Amp./qmm betragen, die Spulen können 20 Watt pro qdm ausstrahlen, ohne daß die Uebertemperatur 20 bis 30° übersteigt.

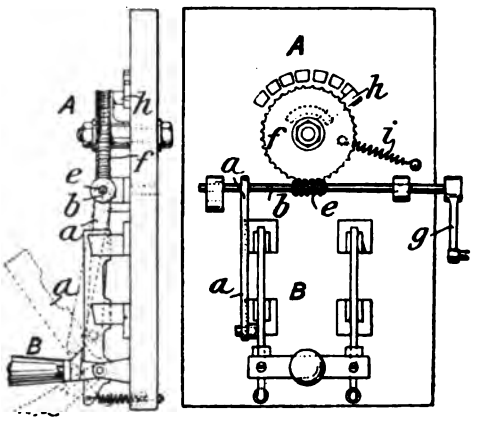


Fig. 505.

Bei Hochspannungsmotoren hat man für den hier besprochenen Fall einen Hochspannungsölschalter mit Spannungsrelais vorzusehen, das den Schalter bei ausbleibender Spannung und eventuell auch bei Ueberstrom auslöst. Es ist aber außerdem eine Verriegelung mit dem Anlasser derart anzuordnen, daß der Schalter

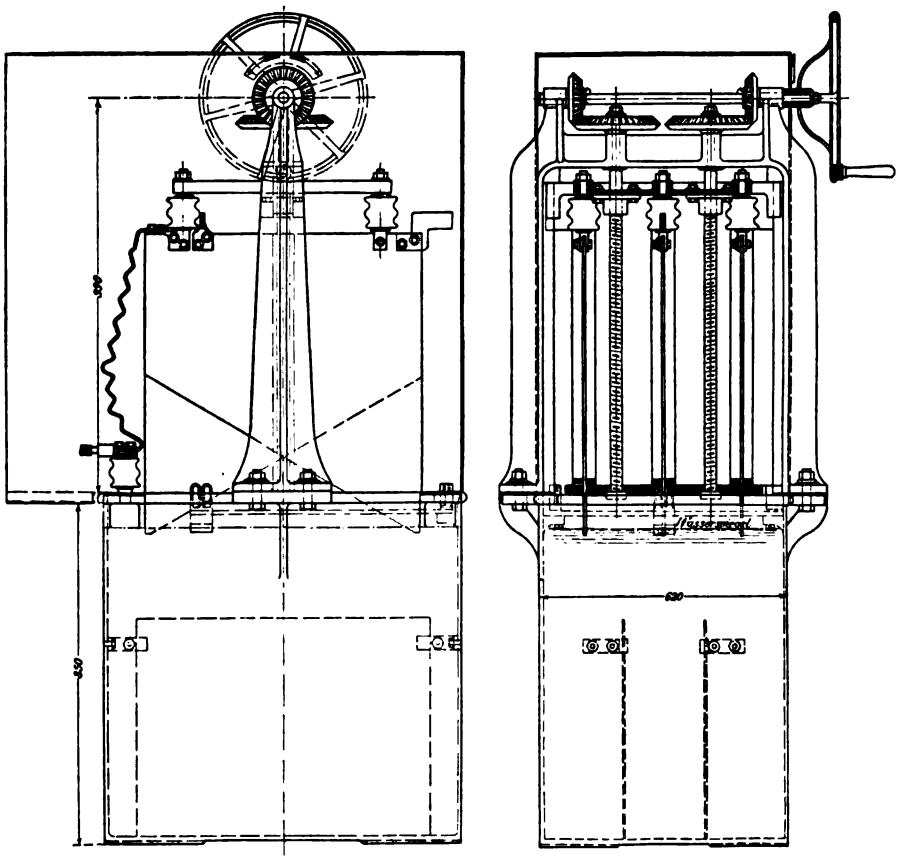


Fig. 506.

Digitized by Google

nicht geschlossen werden kann, bevor nicht aller Widerstand vorgeschaltet ist.

In empfindlichen Netzen ist es angezeigt, das Einschalten langsam vorzunehmen, was nach Fig. 505 mit Hilfe einer Schnecke mit Schneckenrad geschieht; in Fig. 505 ist gleichzeitig der Hauptschalter B mit der Anlaßschaltvorrichtung verriegelt, die Schnecke wird nämlich erst durch den Hebel a eingerückt. Eine langsame Einschaltung kann man auch vermittels Sperrrad und Sperrklinke erreichen, siehe Fig. 401.

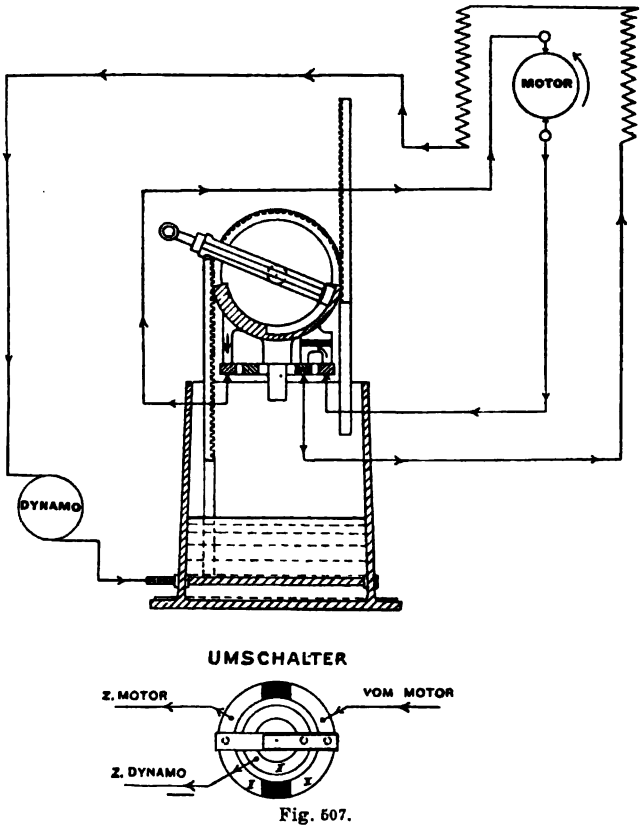


Fig. 507.

Welche riesigen Dimensionen ein Anlaßwiderstand annehmen kann, erhellt aus folgenden Angaben für einen Drehstrommotor von 1500 PS, der ein Walzwerk betreibt: Gesamthöhe 5,4 m, Gesamtbreite 4,8 m und Gesamttiefe 2,5 m.

Die konstruktive Durchbildung eines Flüssigkeitsanlassers[1]) der Helios E.-A.-G. für einen Drehstrommotor von etwa 300 PS ist aus Fig. 506 zu ersehen. Die beiderseits spitzig zulaufenden Elektroden sind

[1]) Siehe auch D. R.-P. 138718 (Siemens & Halske), E. P. 18001 (Jahr 1900) und E.T.Z. 1903, S. 158 und Niethammer, Elektr. Hebezeuge.

Digitized by Google

an Isolatoren aufgehängt und erfahren durch Kegelräder eine geradlinige Auf- und Abwärtsbewegung. Die englische Gesellschaft Vaughan and Son baut Flüssigkeitsumkehranlasser nach Fig. 507: Die Elektroden werden durch Zahnrad und Zahnstange bewegt (El. Review 1904, 5. Juli). Diese Type wird in England auch für Hebezeuge verwendet.

Die Bewegung der Elektroden soll durch eine Oel- oder Luftpumpe gedämpft werden, sofern nicht ein Schraubenspindelantrieb vorgesehen wird.

In Fig. 508 (Oester. P. 12943) ist die Oelpumpe eines Flüssigkeitsanlassers mit einem Ueberstromrelais kombiniert:

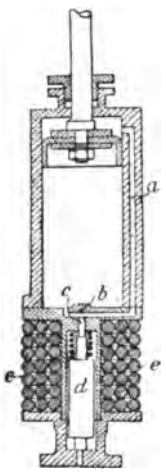


Fig. 508.

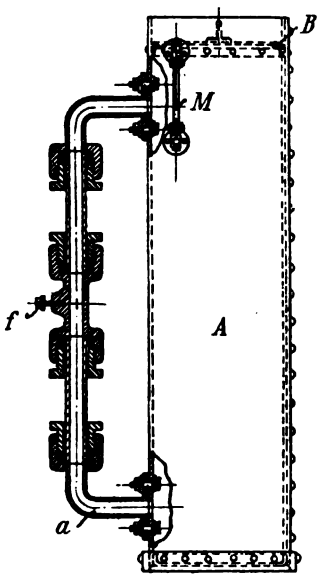


Fig. 509.

Der Eisenkern d eines Solenoides e verschließt bei Ueberschreitung einer bestimmten Stromstärke das Ueberstromventil c, so daß durch den Kanal keine Flüssigkeit aus dem Raum vor dem Kolben in den Raum hinter den Kolben gelangen kann und die Bewegung des letzteren gehemmt ist. — Den mechanischen Stoß beim Ausschalten der Elektroden, deren Gewicht durch ein Gegengewicht ausgeglichen wird (Fig. 504), sollte ein Puffer aus Gummi oder in Form einer kräftigen Spiralfeder aufnehmen. Der Widerstand beim ersten Eintauchen soll genügend groß, d. h. der erste Stromstoß genügend klein sein, was man durch Verwendung einer sehr verdünnten Lösung oder durch Bestreichen des oberen Teils der Innenseite der Gefäße mit Email erreicht. Der Widerstand vor dem Kurzschließen muß kleiner als der Ankerwiderstand sein, was durch konische Ausbildung der Elektrodenflächen, die sich den fest-

Digitized by Google

stehenden Blechen bis auf ein Minimum nähern, zu erzielen ist. Die Asbestplatte in Fig. 504 soll das Abbrennen der Elektrodenspitzen verhindern.

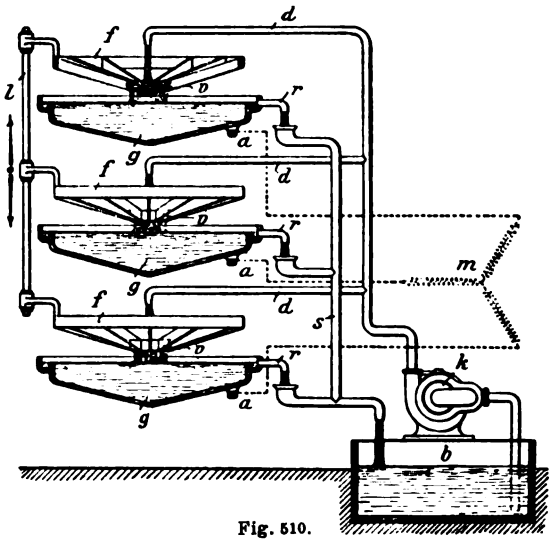


Fig. 510.

Eine intensive Zirkulation der Flüssigkeit und damit eine gute Kühlung unter gleichzeitiger Vermeidung des Spritzens der Flüssigkeit erzielt die A. E.-G. nach Fig. 509 (D. R.-P. 142059) dadurch, daß an dem Gefäß A Rohre a angesetzt werden, in denen die Flüssigkeit zirkuliert.

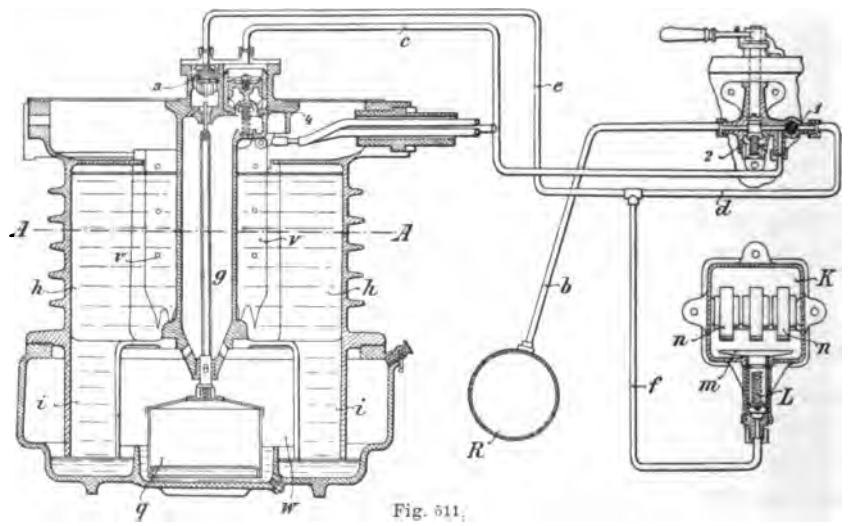


Fig. 511.

An das Gehäuse h werden zur Verstärkung der Kühlung hochgerippte weitausladende Kühlrohre (Kühlschlangen) angesetzt.

Der Flüssigkeitsanlasser Fig. 510 von Siemens & Halske (D. R.-P. 137304) besitzt Flüssigkeitszirkulation durch die Pumpe k,

Digitized by Google

außerdem werden die radartigen Elektroden mehr oder weniger von den flachen Gefäßen entfernt. — Die Flüssigkeit läßt sich nicht allein durch Pumpen, sondern auch durch Druckluft in das Elektrodengefäß treiben; diese Anordnung hat Ganz & Co. nach Fig. 511 für Drehstrombahnen entwickelt: R ist das Druckluftreservoir, von dem aus die Luft durch ein Drosselventil 1, das Rohr d und das Ventil 3 nach dem Raum g und w strömt und die Flüssigkeit von w nach i zu den Elektroden v

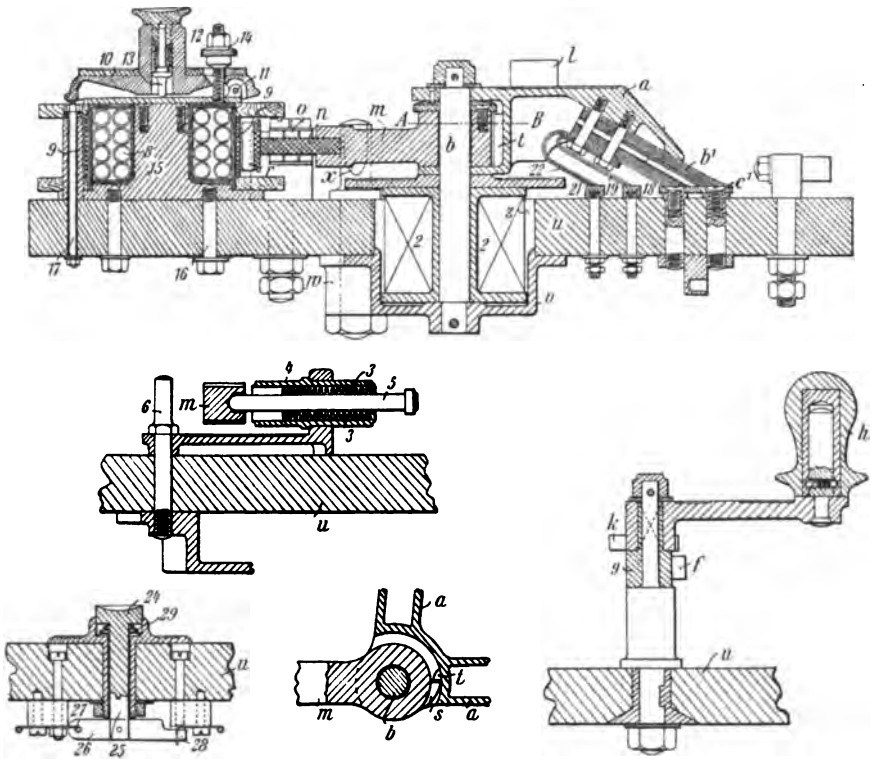


Fig. 512.

treibt. Zum Schluß schließt der Schwimmer q das Ventil 3, worauf der Kurzschließer k die drei Rotorleitungen unter Ausschluß des Flüssigkeitsanlassers kurzschließt. 4 ist das Luftausströmungsventil für das Abschalten der Motoren, die Luft entweicht durch e und 2.

Ein in seinen vielen Einzelheiten beachtenswerter Anlasser ist in Fig. 512 bis 514 gemäß dem E. P. 8279 (Jahr 1903) entworfen. Zunächst ist ein mit Funkenlöschung 8 (Fig. 514) und Funkenzieher r (Fig. 513) versehener Hauptschalter m n vorhanden. Der Schalthebel a wird mit Hilfe der Nase f an der Kurbelwelle (Fig. 513) und der Kerben e (Fig. 512) schrittweise langsam vorwärts bewegt; solange f

Digitized by Google

außer Eingriff ist, verriegeln die Kerben i durch das Rad g (Fig. 512) die Weiterbewegung. In der eingeschalteten Endstellung des Hebels a

Fig 512 bis 514 stellen denselben Anlasser dar.

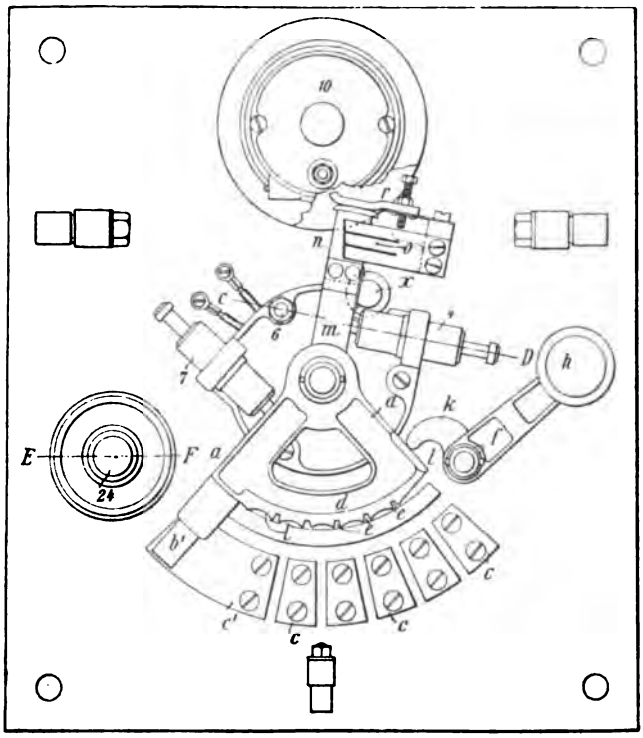


Fig. 513.

wird dieser durch den Magneten 2 festgehalten, der aber a freigibt, sobald die Netzspannung ausbleibt oder der Ueberlastmagnet 8 den Schalter 10 (Fig. 514) schließt, oder aber wenn der Schalter 24 (Fig. 514)

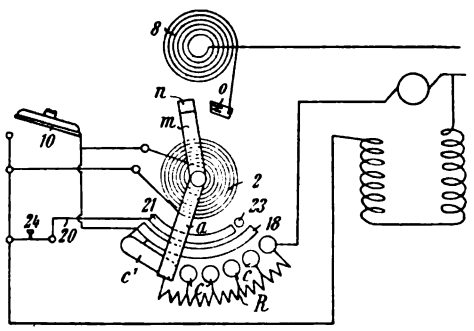


Fig. 514.

von Hand geöffnet wird. Das Zurückschnellen des Anlaßhebels a und ebenso das rasche Ausschalten des Schalthebels m besorgen die Puffer-

Digitized by Google

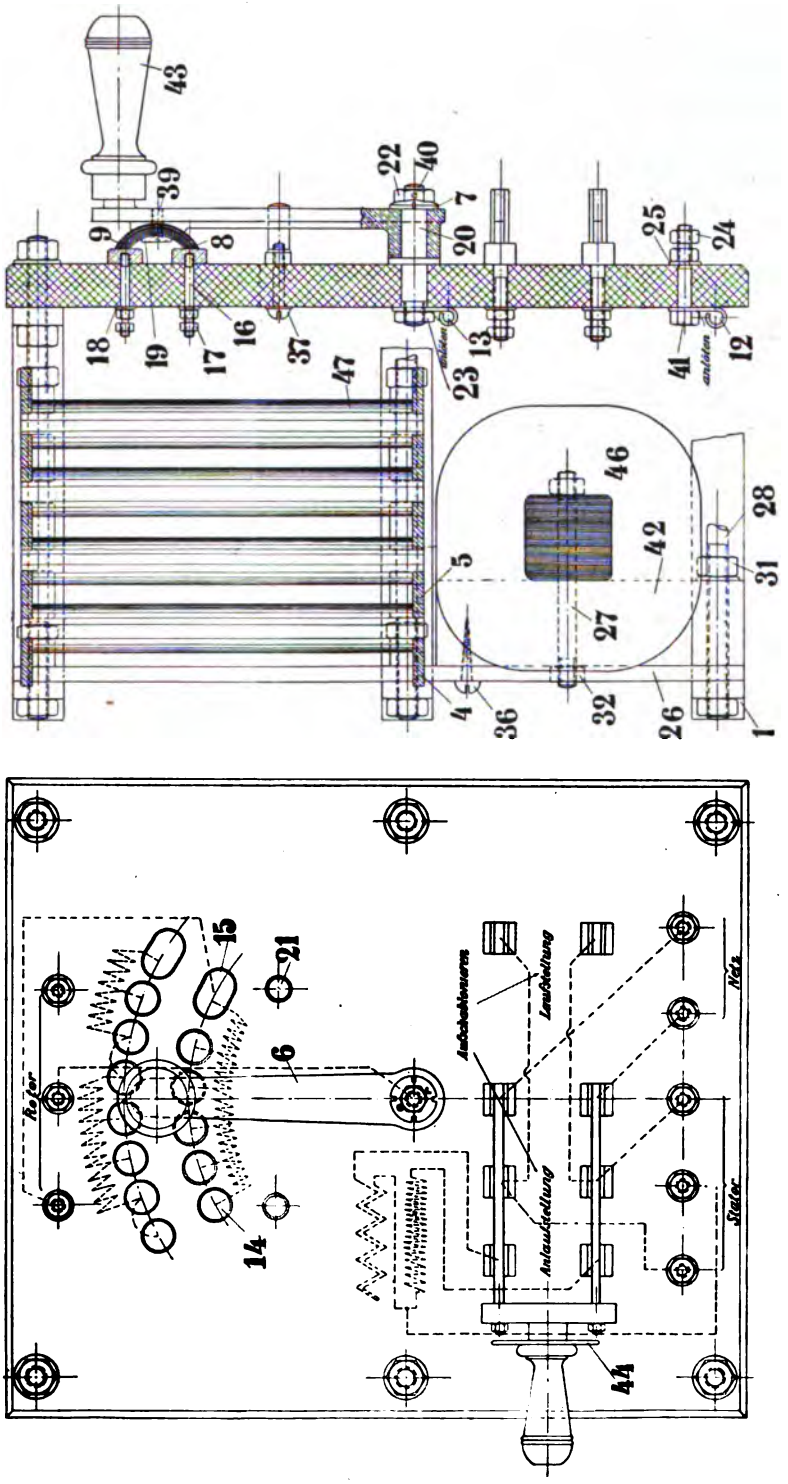


Fig. 515.

Digitized by Google

federn 4 und 7 (Fig. 512 u. 513). Bevor a beim Ausschalten seine Bewegung vollendet, schlägt die Nase t an den Anschlag s und leitet die Ausschaltung von m n ein.

Zum Anlassen von Einphasenmotoren[1]) ist neben einem üblichen Drehstromanlasser eine Primäranlaßvorrichtung zur Erzeugung eines

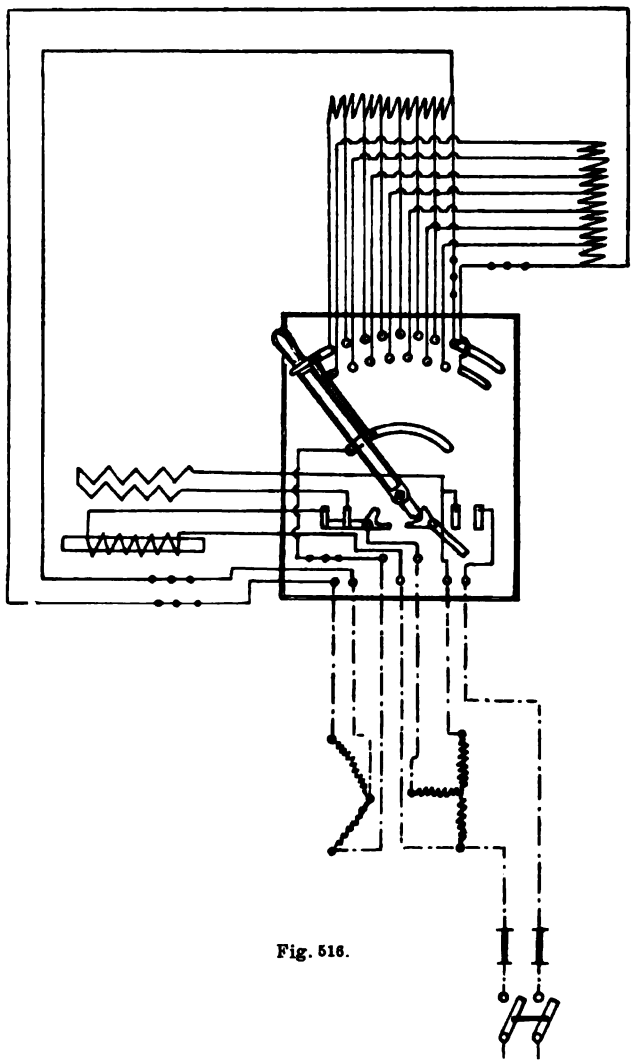


Fig. 516.

Anlaßdrehfeldes erforderlich. In Fig. 515 ist eine solche Anlaßvorrichtung der Union E.-G. für einen 3 PS-Motor gezeichnet, sie enthält einen zweiphasigen Rotoranlaßwiderstand, einen induktionsfreien[2]) Röhren-

[1]) Siehe Bd. II und Niethammer, Elektrische Hebezeuge.

[2]) Bifilar gewickelt.

Digitized by Google

widerstand (oben, 47) und eine Drosselspule 46 (unten) sowie einen Umschalter 44 für Anlauf und Lauf. Die Wirkungsweise geht am deutlichsten aus dem Schema Fig. 516 hervor, wo allerdings der Handumschalter durch zwei zwangsläufig bewegte Schnappschalter ersetzt ist.

Ein Dreileitermotor, dessen Anker an den Außenleitern und dessen Feld am Nulldraht und an der mit dem Anlasser verbundenen Ankerklemme liegt, hat beim Anlassen zunächst die Tendenz rückwärts zu laufen, später aber nach vorwärts; man lege deshalb die Feldwicklung direkt an zwei Netzleitungen.

Jeder Anlasser, Regler und Widerstand ist auf Isolation zu prüfen und zwar bei Betriebsspannungen unter 500 Volt mindestens mit einer Prüfspannung von 1000 Volt zwischen stromführenden Teilen unter sich[1]) und gegen Gestell, darüber mit doppelter Spannung. Alle Relaisspulen sind mit derselben Spannung bei angelegtem Anker zwischen Kern und Wicklung zu prüfen. Die Widerstände der Relaisspulen sollten zurückgewiesen werden, wenn sie nicht innerhalb 5 bis 10 % ihren Sollwert besitzen. Das Widerstandsmaterial sollte je nach Beschaffenheit und Konstruktion keine höhere Uebertemperatur zeigen als

75 bis 150 ° bei Regulatoren, und
125 bis 250 ° bei Widerständen.

Vor allem darf die Erwärmung für die Teile des Anlassers und für die Umgebung selbst beim Ausbrennen durch Ueberlast nicht feuergefährlich werden. Bei der Prüfung ist auch nachzusehen, daß durchweg guter Kontakt vorhanden ist, daß Relais bei den verlangten Stromstärken richtig funktionieren und die Federn den Schalthebel vollständig in die Ausschaltestellung werfen.

Ein Anlasser sollte 50 % mehr als den Normalstrom des Motors 1 Minute lang schadlos aushalten und 100 % mehr 20 Sekunden lang.

43. Anlasser für schwierige Verhältnisse.

Für schwierige Anlaßverhältnisse, d. h. namentlich für große Motorleistungen mit Anzugsmomenten, die das Normale wesentlich übersteigen und bei häufigem Anlassen, Abstellen und Reversieren (Hebezeuge, Walzwerke, Hobelmaschinen etc.) kommen folgende Anlasser in Frage:

1. Kontroller oder Schaltwalzen,
2. Kohlenanlasser,
3. Sätze kräftiger Einzelschalter, von denen jeder nur zur Schal-

[1]) D. h. zwischen den in offenem Zustand nicht leitend verbundenen Teilen, z. B. zwischen Schalthebel und Kontakte.

Digitized by Google

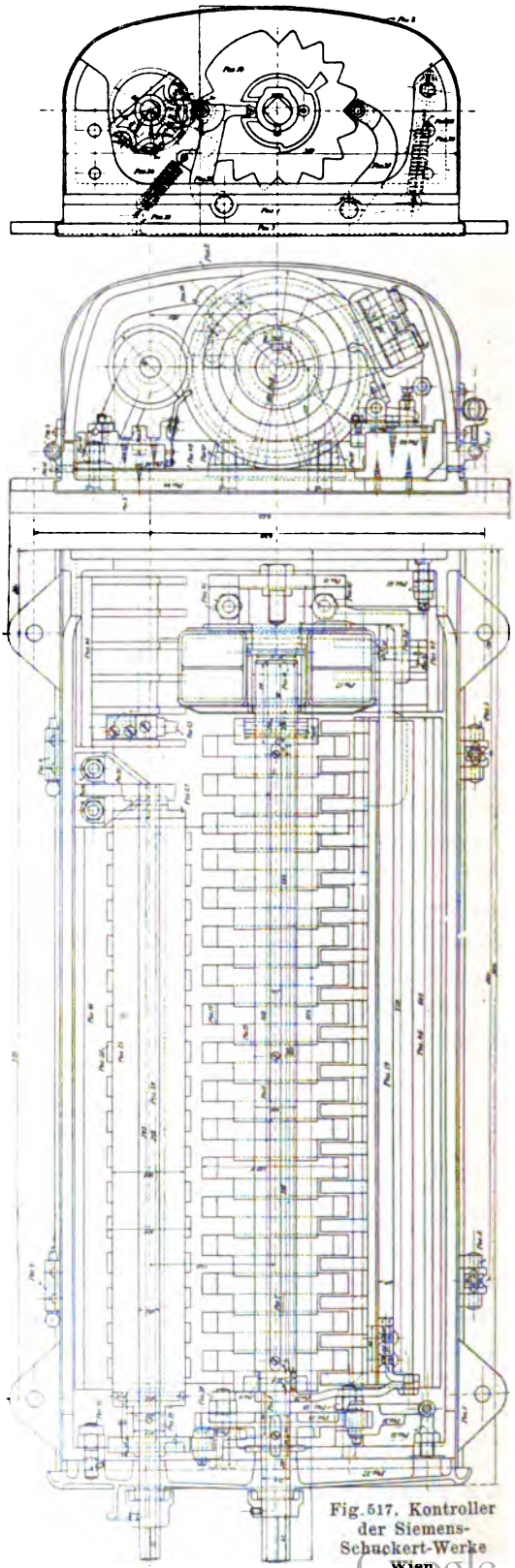


Fig. 517. Kontroller der Siemens-Schuckert-Werke Wien.

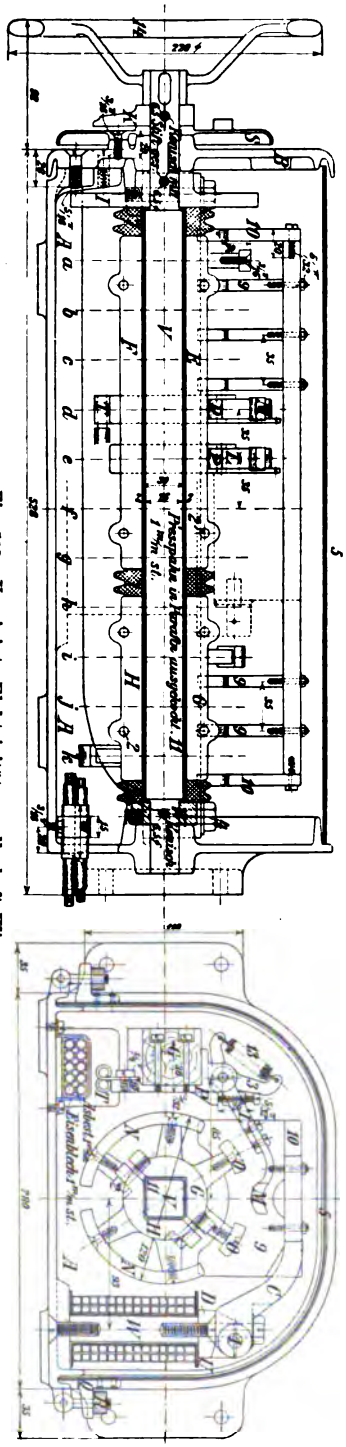


Fig. 518. Vereinigte Elektrizitätsgesellschaft Wien.

Digitized by Google

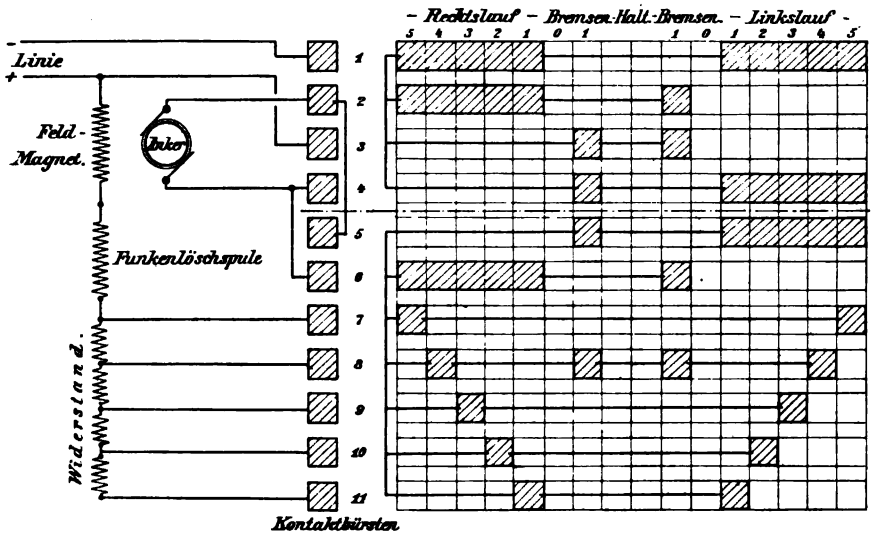


Fig. 519. Schema zu Fig. 518.

tung einer Stufe dient. Diese Schalter können von Hand oder durch Elektromagnete bezw. Elektromotoren gesteuert werden.

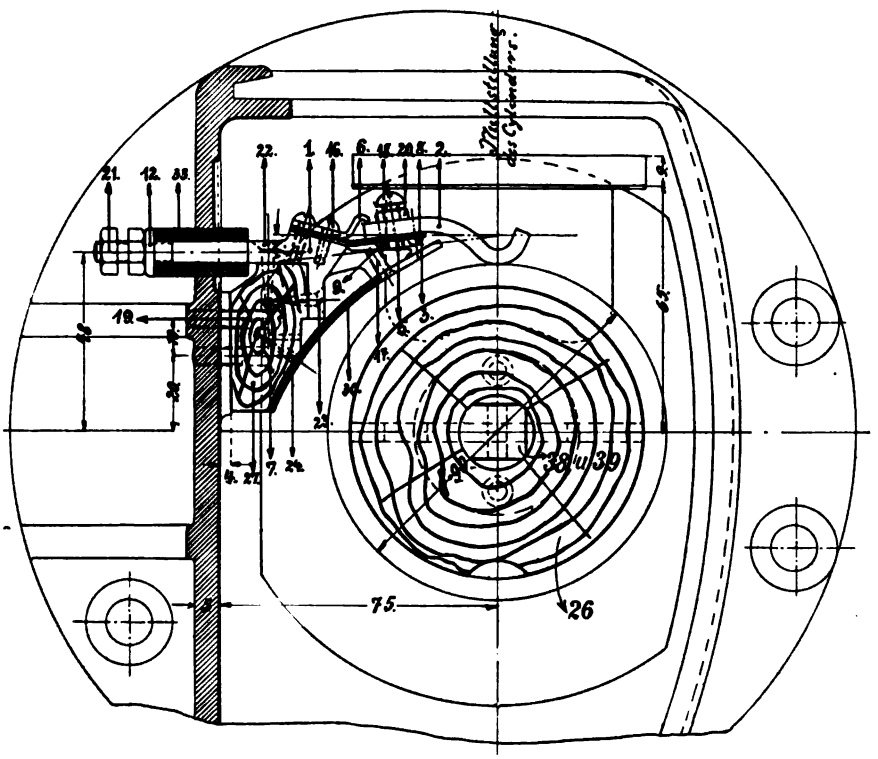


Fig. 520. Union E.-G.

Digitized by Google

Die Herstellung der Kontroller ist in Niethammer, „Elektrotechnische Fabriken“ S. 270 beschrieben; ihre Konstruktion ist aus den Zeichnungen Fig. 517 von Schuckert, Fig. 518 u. 519 der Ver-

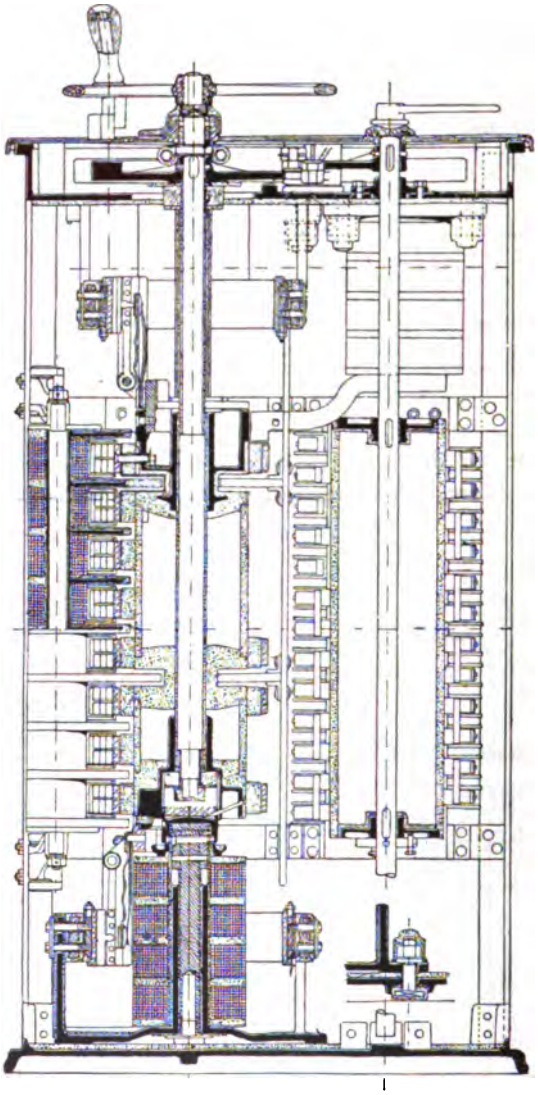


Fig. 521. Siemens & Halske.

einigten Elektrizitätsgesellschaft Wien, Fig. 520 der Union E.-G., sowie Fig. 521 bis 523 von Siemens & Halske ersichtlich. Der Aufbau der Walze in Fig. 518 ist derart, daß auf die quadratische Stahlachse V eine 1 mm starke Preßspanhülse 11 geschoben wird. Darauf werden zweiteilige Gußeisenzylinder G mit Ansätzen geklemmt

Digitized by Google

und durch die Stabilitstücke 7 voneinander getrennt. Auf die Gußnocken werden dann die Kontaktsegmente O N aus Messingguß ge-

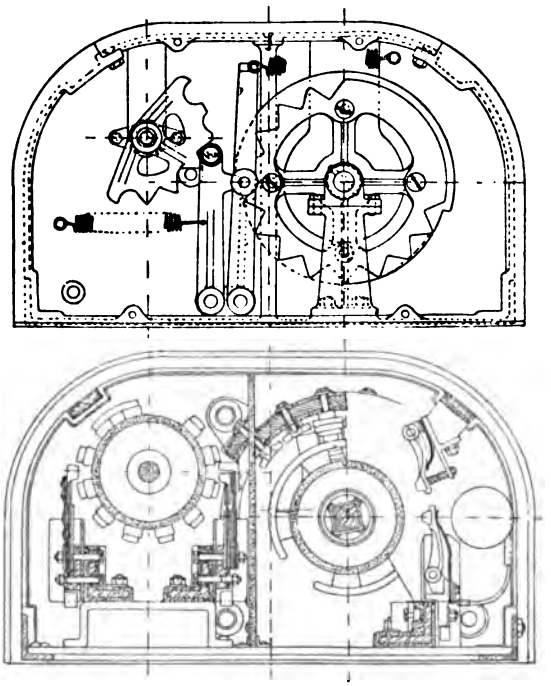


Fig. 522.

schraubt. Zwischen die federnden Kontaktfinger sind feuersichere Funkenzwischenwände 9 aus Asbestschiefer geschoben. Im übrigen sind alle Teile der Stückliste zu entnehmen:

Pos.	Stück	Benennung	Material
A	1	Gehäuse	Gußeisen
B	1	Deckel samt 3 Schrauben $^5/_{16}$"	„
C	1	Polstück samt 1 Schraube $^3/_8$"	„
D	1	Polhalter samt 2 Schrauben $^3/_8$"	„
E	1	Kontaktwalzenhälfte	„
F	1	„	„
G	1	„	„
H	1	„	„
I	1	Arretierungsscheibe mit Splint	„
J	1	Arretierungshebel	„
K	1	Zeiger	Messingguß
L	11	Kontaktfingerhalter samt Eisenbolzen 6,5 Φ .	„
M	11	Kontaktfinger samt je 2 Schrauben $^5/_{32}$" . .	„

Digitized by Google

Pos.	Stück	Benennung	Material
N	6	Kontaktsegmente samt je 2 Schrauben $^3/_{16}$" .	Messingguß
O	18	„ „ „ 1 Schraube $^3/_{16}$" .	„
P	11	Kontakthalter samt je 2 Schrauben $^5/_{32}$" . .	„
Q	4	Verschlußstücke	„
R	4	Bolzen samt Eisenmutter 16 ϕ $^1/_4$"	„
S	1	Markierungsplatte samt 3 Schrauben $^3/_{16}$" .	„
T	11	Kabelmuffen	Kupferblech
U	1	Spule 1 mm st. innen mit 1 mm Preßspan isoliert	Zinkblech
V	1	Welle samt Keil 8 × 4 u. Stellring mit Splint	Schmiedeisen
W	1	Eisenkern samt 3 Schrauben $^3/_8$"	„
X	1	Bolzen 10 mm ϕ	„
Y	1	Rolle 25 mm ϕ samt Stahlbolzen 6,5 mm ϕ	„
Z	1	Bolzen 10 mm ϕ	„
1	2	„ 10 „ ϕ	„
2	8	Schrauben $^1/_4$"	„
3	11	„ $^5/_{32}$"	„
4	2	„ $^3/_8$"	„
5	1	Schutzmantel 1 mm st. m. Asbestverkleid. 1 mm st.	Eisenblech
6	1	Leiste	Hartholz
7	2	Isolierstücke	Stabilit
8	1	„	„
9	10	Zwischenwände s. je 2 Eisenbolzen $^5/_{32}$" m. Mutt.	Asbestschiefer
10	2	„ samt je 2 Schrauben $^5/_{32}$" .	„
11	2	Preßspanisolation 1 mm st., je 420 mm lang	Preßspan
12	1	Spiralfeder 1,3 mm ϕ	Stahldraht
13	11	„ 1 mm ϕ	„
14	1	Handrad	Gußeisen

In Fig. 517 ist eine Hauptschaltwalze 13 für die Widerstände und eine Umschaltwalze 25 für Vor- und Rückwärtslauf vorgesehen. Auf die Stahlachse der Hauptwalze sind eine große Zahl einzelner Isolierringe geschoben, die durch einen Keil an der Drehung verhindert werden. Umschaltwalze und Hauptwalze sind durch ein Sternrad mit Klinke gegenseitig verriegelt, es kann nur in der Nullstellung der Hauptwalze umgeschaltet werden. Die einzelnen Stellungen der Hauptwalze werden durch ein Gesperre (Kerbenrad) markiert. Nachstehend die Stückliste für Fig. 517:

Pos.	Stück	Gegenstand	Material
1	1	Regulatorrahmen	Gußeisen
2	1	Vordere Verkleidung mit Asbestschutz . . .	Eisenblech
3	1	Hintere „ „ „ . . .	„
4	2	Scharniere rechtsseitig	Messing
5	2	„ linksseitig mit Messingmutter . .	Temperguß
6	1	Druckring mit Prisonschrauben	Messing

Digitized by Google

Pos.	Stück	Gegenstand	Material
7	1	Feder mit 3 Schrauben	Schmiedeisen
8	1	„ „ 1 Schraube	„
9	1	Achse	„
10	1	Ring mit eisernen Bolzen	Messing
11	1	Scheibe	Stahl
12	18	Isolierringe	Stabilit
14	1	Große Sperrscheibe	Siliziumbronze
15	1	Lagerkonsole	„
16	1	Schnapper mit Bolzen und Feder	
17	1	Bläserspule	
18	1	Fächerwerk	
19	1	Flacheisen 14 × 70 × 720	Schmiedeisen
20	1	Untere Befestigung zum Fächerwerk	Stahlguß
21	2	Befestigungsschrauben „ „ ½" lg. 28 mm	Schmiedeisen
22	1	Obere Befestigung zum Fächerwerk	
23	17	Hämmer zur Hauptwalze	
24	1	Achse	Schmiedeisen
25	1	Walze	Holz
26	1	Abwicklung zur Umschaltwalze	
27	1	Unteres Deckstück	Siliziumbronze
28	1	Kleine Sperrscheibe mit Splint	„
29	1	Lagerbock	Gußeisen
30	10	Kontakthämmer zum Umschalten	Siliziumbronze
31	1	Sperrhebel zur großen Sperrscheibe	Phosphorbronze
32	1	„ „ kleinen „	„
33	1	Oese	Schmiedeisen
34	2	Federn	Stahl
35	1	Oesenschraube	Schmiedeisen
36	1	„ mit Mutter	„
37	1	Deckel	Siliziumbronze
38	2	Befestigungsschrauben mit Mutter	Schmiedeisen
39	2	Schrauben mit Muttern	„
40	2	„ „ „	„
41	2	„ „ „	„
42	4	Schrauben 6 ϕ, 15 lang	„
43	8	Klemmstücke	Siliziumbronze
44	1	Brett in Leinöl gekocht	Weißbuche
45	1	Holzstück in Leinöl gekocht	„
46	1	„ „ „ „	„
47	1	Klemmbrett für 3 Klemmen in Leinöl gekocht	„
48	1	„ „ 5 „ „ „ „	„
49	1	Verkleidung	Asbestpappe
50		Klemmenverbindungen	
51	1	Kurbel	Siliziumbronze
52	1	Schlüssel	
54	div.	Holzschrauben	
55	1	Schraube mit Mutter und Gegenmutter	Schmiedeisen

Digitized by Google

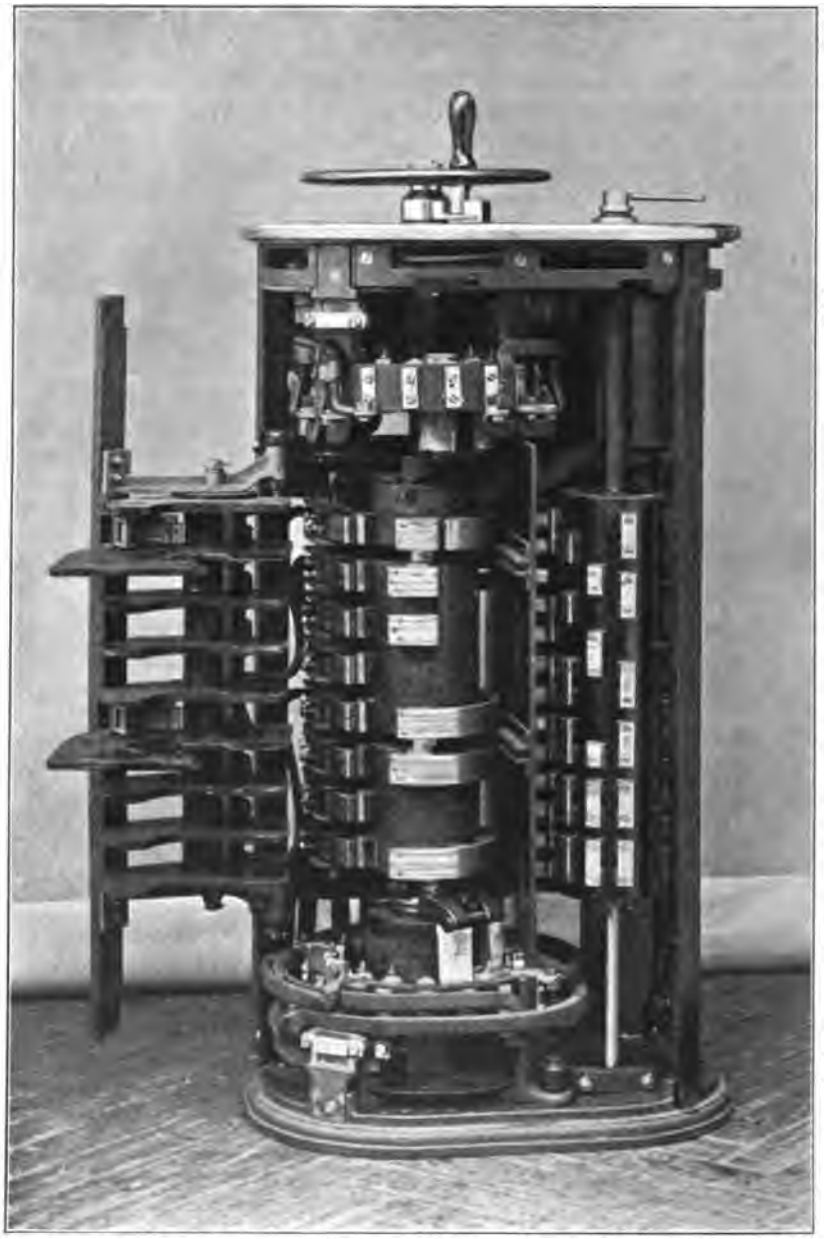


Fig. 523. (Gehört zu Fig. 521 u. 522.)

Auf Fig. 520 ist die Ausführung der Leitungen von den Kontaktklötzen zu den Klemmen am Gehäuse zu sehen, die Durchführung ist durch eine Weichgummihülse geschützt.

Die Walze Fig. 520 der Union E.-G. besteht aus imprägniertem

Digitized by Google

Holz mit einer Asbestlage; in das Holz sind die Segmenthalter aus Rotguß eingeschraubt. Fig. 524 gibt ein perspektivisches Bild dieser Walze.

Nachstehend ist die Stückliste dieses Kontrollers Fig. 520 gegeben:

Nr. in Figur 520	Material	Gegenstand	Stückzahl
39	Messing gezogen	Wellenstumpf	1
38	Atlasstahl	„	1
37	Asbestpapier	Belag für 26 : 15 × 145 × 1	1
36	„	„ „ 26 : 11 × 145 × 1	1
35	„	„ „ 26 : 112 × 86 1 mm stark	1
34	„	„ „ 26 : 45 × 94 1 mm stark	1
33	Weichgummi	Gummischlauch	9
32	Fiber	Nutenausfüllung für 26 : 46 lang 4,5 × 5	2 nicht gezeichnet
31	„	„ „ 26 : 20 lang 4,5 × 5	2 nicht gezeichnet
30	„	Isolationsplatte	1
29	„	Endscheibe für 26	1 nicht gezeichnet
28	„	„ „ 26	1 nicht gezeichnet
27	Ahornholz	Fingerleiste	1
26	Eschenholz	Holzzylinder	1
25	Eisen	Holzschraube für 28 und 29	4
24	„	„ „ 30	4
23		„ „ 1	10
22		„ „ 1	10
21	Messing	Mutter für 1	18
20	„	„ „ 18	10
19	„	Befestigungsschraube für 27	4
18	„	Stellschraube für 2	10
17	Schweißeisen	Befestigungsschraube für 30	3
16	„	„ „ 5	20
15	Atlasstahl	Nietstift für 38 u. 39 : 23 lang, 4 ϕ	2
14	„	„ „ 26 : 32 lang, 5 ϕ	2
13	„	„ „ 26 : 60 lang, 5 ϕ	1
12	Schmiedeisen	Unterlagsscheibe für 21	9
9	Kupfer	Nieten für 2 : 10 × 2	20
8	„	„ „ 2 : 10 × 3,2	10
7	Messing	Unterlagsscheibe für 19	4
6	„	„	10
5	Phosphorbronze	Feder für 2	10
4	Kupferblech	Verbindungsöse für 2	2
3	„	Beilagen für 5	20
2	Kupfer	Kontaktfinger	10
1	Rotguß	Fingerbock	10

In Fig. 525 der Union sind die Segmenthalter aus Rotguß auf gepreßte Isolationsringe aus Ambroin oder ähnlichem aufgeschoben

Digitized by Google

(D. R.-P. 118719). Fig. 526 stellt eine Walze der General Electric Co. Schenectady dar, wobei die Isolationsmasse in flüssigem Zustand bei etwa 100 ° sich zwischen Achse und Segmenthalter fügt. Fig. 527 zeigt eine Methode der Befestigung der Kupfersegmente auf einem Umschaltezylinder aus Holz.

Der Kontroller Fig. 528 der General Electric Co. Schenectady läßt deutlich die Funkenzwischenwände, die herausdrehbar sind,

Fig. 524.

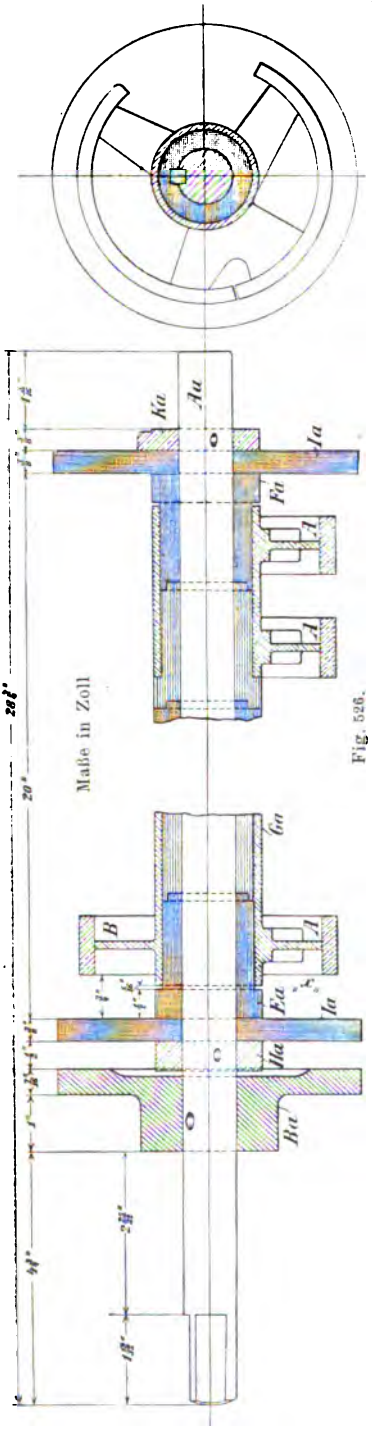
Union E.-G.

Fig. 525.

den Funkenlöscher, die beiden Walzen und unten Ausschalter für die einzelnen Motoren sowie das Klemmbrett erkennen. Der ältere Kontroller der Central London-Bahn (Fig. 529) ist aus einzelnen Holzstücken aufgebaut, am Umfang schleifen vier Bürstensätze.

Die Kontaktfinger des Kontrollers Fig. 521 u. 522 haben konisch eingesetzte Kontaktklötze aus Kupfer; die Umschaltwalze besteht offenbar aus Holz, die Hauptwalze aus isoliert aufgeschobenen Gußzylindern. Ueber und unter der Hauptwalze ist ein feststehender Ring von Kontakten für die Widerstandsstufen kollektorähnlich zusammengebaut, die

Digitized by Google



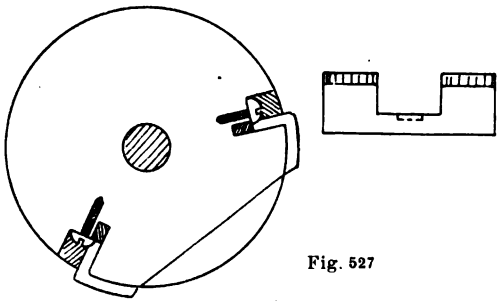


Fig. 527

Fig. 528.

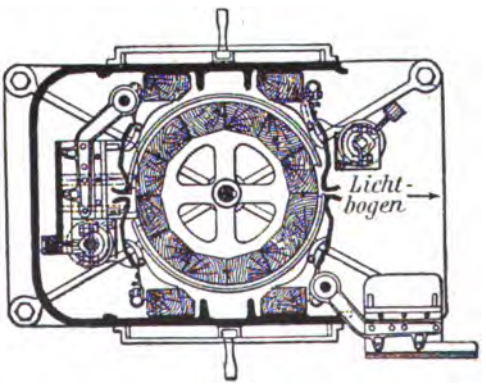
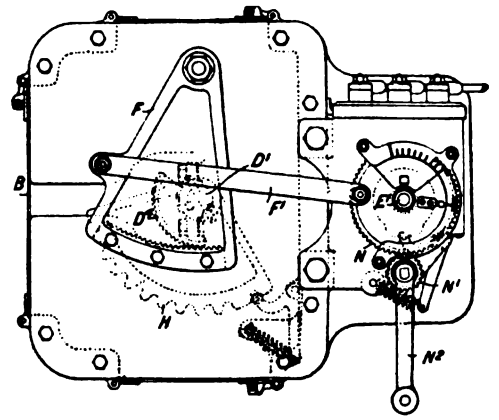


Fig. 529.

Digitized by Google

Ausbildung derselben zeigt Fig. 523; auf diesen Kontakten schleifen Bürsten (Fig. 522), die an der Schaltwalze befestigt sind.

Die Umschaltekontakte liegen entweder auf der Hauptwalze oder aber es ist, wie schon erwähnt, eine besondere Umschaltewalze vorgesehen, an der nur stromlos geschaltet wird und die häufig durch ein geeignetes Zahnsegment, durch ein Gestänge oder sonst eine sinnreiche kinematische Vorrichtung verbunden ist. Die Hauptwalze dreht sich dann häufig stets im gleichen Sinn, mag auch die Umschaltwalze in verschiedenem Sinn sich drehen. In Fig. 530 ist z. B. die Umschaltwalze unter Oel und die Widerstandswalze wird durch ein Gestänge und Zahnsegment bewegt (General Electric Co.). Dieser Kontroller eignet sich für Hochspannungsmotoren, obwohl Kontrollerwalzen unter Oel nicht vor Explosionen sicher zu sein scheinen. Die üblichen Oelschalter bezw. Oelumschalter dürften sich besser bewähren.



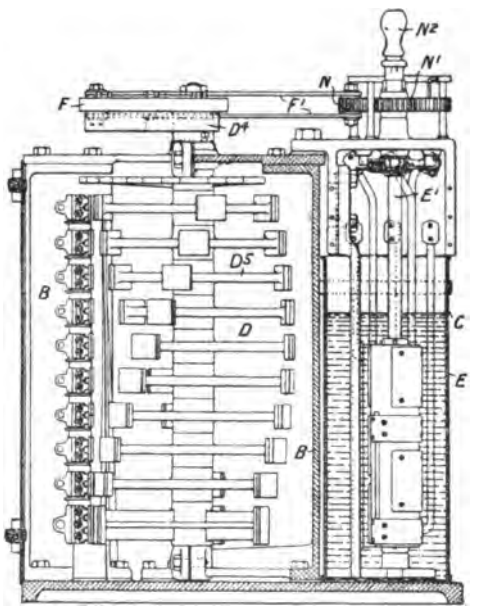


Fig. 530.

Die Funkenlöschung geschieht entweder durch Elektromagnete seitlich an der Schaltwalze (Fig. 528) oder zentrisch auf derselben (Fig. 517) oder durch Solenoide (Fig. 224), siehe auch S. 168. Die Berechnung der Funkenlöschspule, die im Hauptstrom liegt, sollte auf direkte Versuche basiert werden. Man verschaffe sich einen möglichst eisengeschlossenen Kreis und eine Luftinduktion am Kontakt von 300 bis 1000 CGS. Zwischen die Kontakte verschiedenen Potentials schiebt man feuersichere Wände aus Asbestmasse. Ist ein Pol geerdet, so lege man die Widerstände in die Erdleitung.

Digitized by Google

Die Ausbildung der Kontrollerfinger ist aus Fig. 531 zu ersehen[1]), die Stromdichte ist 1 bis 5 Amp./qmm Kontaktfläche. Die positiven und negativen Segmente an der Walze sind möglichst weit voneinander

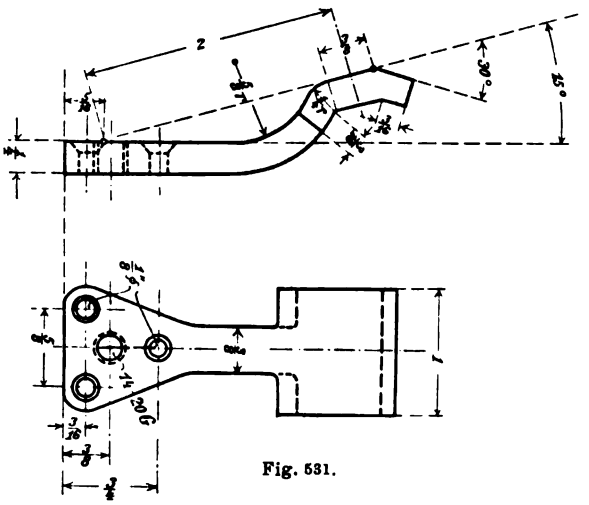


Fig. 531.

zu trennen. Als Isolation zwischen zwei Segmenten auf Holzzylindern kann man Luft oder Porzellanstücke benützen.

Die Blechdeckel der Kontroller müssen leicht aufzudrehen oder abzuheben sein, auch die Funkenlöschwände muß man rasch zurücklegen

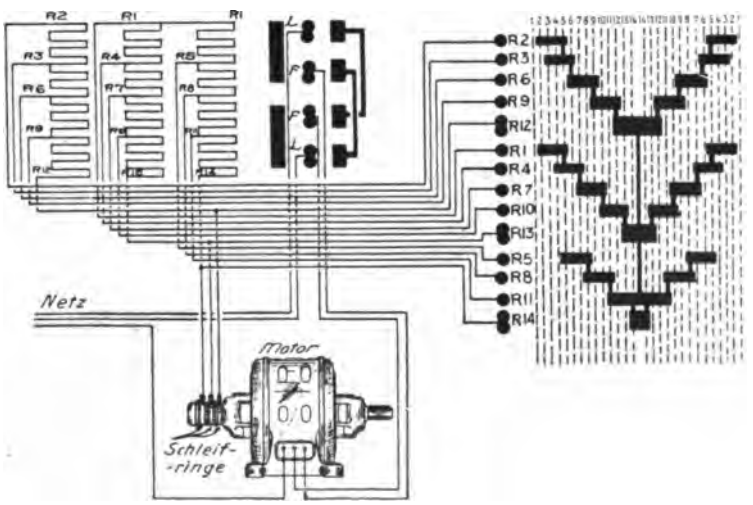


Fig. 532.

können, um zur Walze und den Kontaktfingern zu kommen (Fig. 528). Die Schaltwalze großer Kontroller läßt sich nur schwer von Hand

[1]) Siehe auch den Kontrollerfinger von Lahmeyer-Frankfurt in D. R.-P. 159003.

Digitized by Google

drehen, man hat dann motorischen Antrieb zu verwenden, auch die Verwendung von Kugellagern verbessert die Verhältnisse. Das Gehäuse von Kontrollern besteht in der Regel aus Gußeisen, in Fällen, wo es jedoch einen magnetischen Kurzschluß für den Funkenlöscher bilden würde, kann es aus Zink oder Aluminium bestehen. Dient ein Kontroller zur Schaltung mehrerer Motoren, so baut man gewöhnlich unten in denselben Ausschalter ein, um einen fehlerhaften Motor abschalten zu können (Fig. 528 u. 473). Die Zahl der Kontakte der Kontroller ist gewöhnlich ziemlich gering, da sie in der Regel Serienmotoren

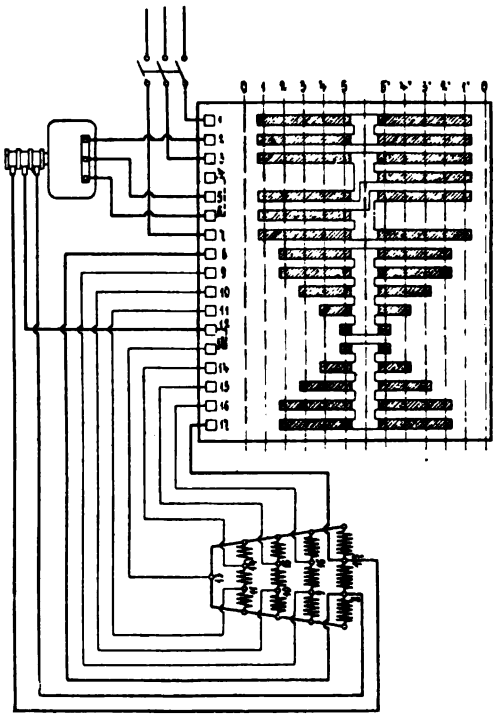


Fig. 533.

steuern und sehr solide Kontakte und Schnappbewegung besitzen. Ein Kontroller für zwei Motoren zu 50 PS 500 Volt oder zwei zu 25 PS 220 Volt hat z. B. 4 Serienkontakte, 4 Parallel- und 6 Bremskontakte, ein Kontroller für zwei Stück 125 PS-Motoren 500 Volt hat nur 4 bis 7 Serienstellungen und 4 bis 6 Parallelstellungen. Mehr als 20 Stufen bringt man kaum in einem Kontroller unter und für Leistungen über 300 PS dürfte man allgemein zu dem System der Einzelschalter übergehen. Um die Höhe der Drehstromkontroller reduzieren zu können, hat man wohl öfters zweiphasige Rotoren verwendet oder die Kontakte der drei Phasen gegeneinander versetzt wie in Fig. 532 (General

Digitized by Google

Electric Co.); die Schaltung Fig. 533 von Voigt & Häffner gestattet ebenfalls eine Reduktion der Kontakte. Lahmeyer-Frankfurt reduzieren durch die Gruppierung Fig. 534 (D. R.-P. 144958) auch bei Gleichstrom die Höhe, es werden die Widerstände einzeln und zu zweien parallel benützt; dadurch spart man auch an Widerstandsmaterial. Schließlich kann man einen Teil der Kontakte kollektorähnlich anordnen und gewinnt wesentlich an Platz (Fig. 523 u. 535a bis d), verliert aber

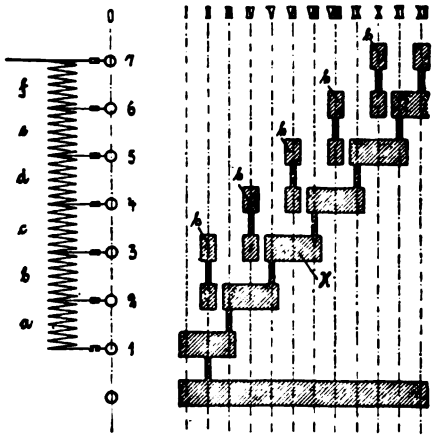


Fig. 534.

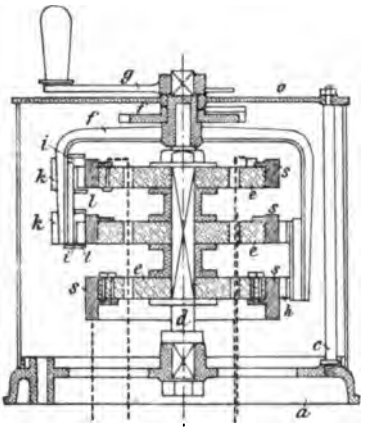


Fig. 535a.

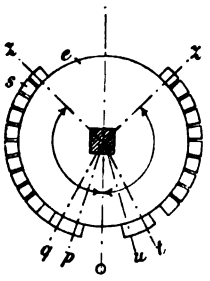


Fig. 535c.

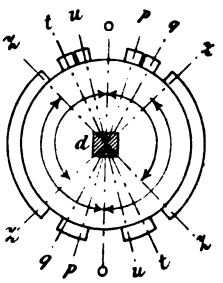


Fig. 535d.

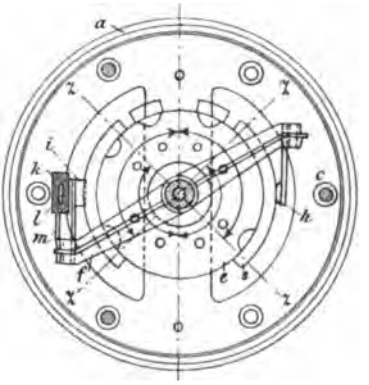


Fig. 535b.

an Betriebssicherheit, man muß dann auch mehr Stufen wählen. In Fig. 536 ist noch das Schema eines Kranhubmotors mit 5 Hub- und 3 Senkstellungen von Voigt & Häffner gezeichnet, für das Heben ist eine Bremsstufe B_3, für das Senken sind zwei Bremsstufen $B'_2 B'_4$ vorhanden.

Um den Motorwärter zu verhindern, den Kontroller in irgend einer Laufstellung zu verlassen, gibt die General Electric Co. demselben

Digitized by Google

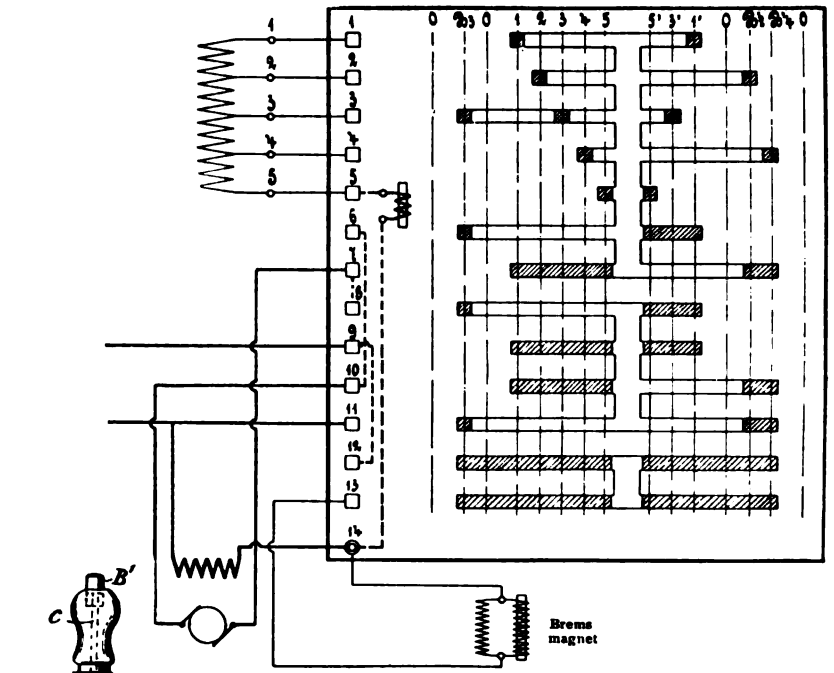
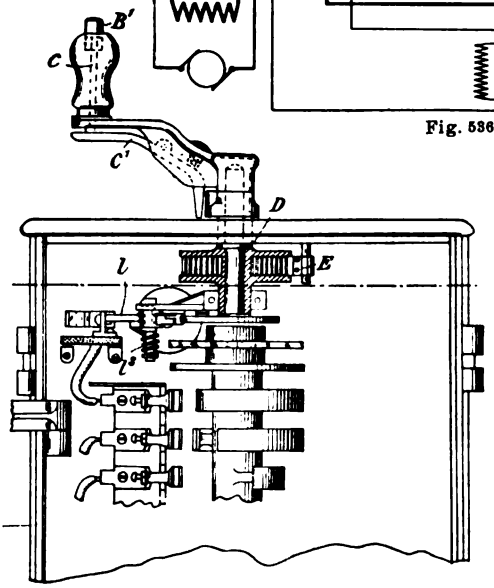


Fig. 536.



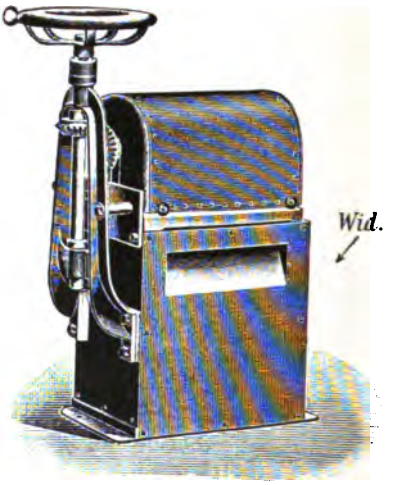


Fig. 538.

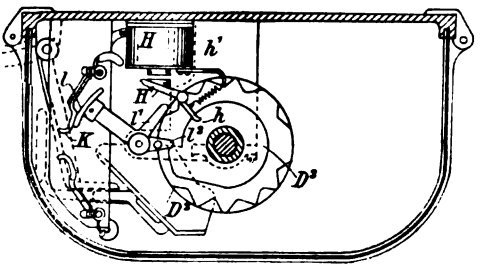


Fig. 537.

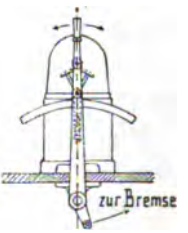


Fig. 539.

Digitized by Google

die Einrichtung Fig. 537 (E. P. 25448 v. J. 1899). Der Wärter hat mit dem Daumen den Knopf B′ niederzudrücken; läßt er denselben los, so dreht die Feder E die Platte D_3, wodurch der Hebel l_2 frei wird und sich durch Feder l_3 der im Hauptstrom liegende Schalter 1K öffnet. In einfacherer Weise läßt es sich auch bewerkstelligen, daß die Kontrollerkurbel nur in ausgeschalteter Stellung abnehmbar ist.

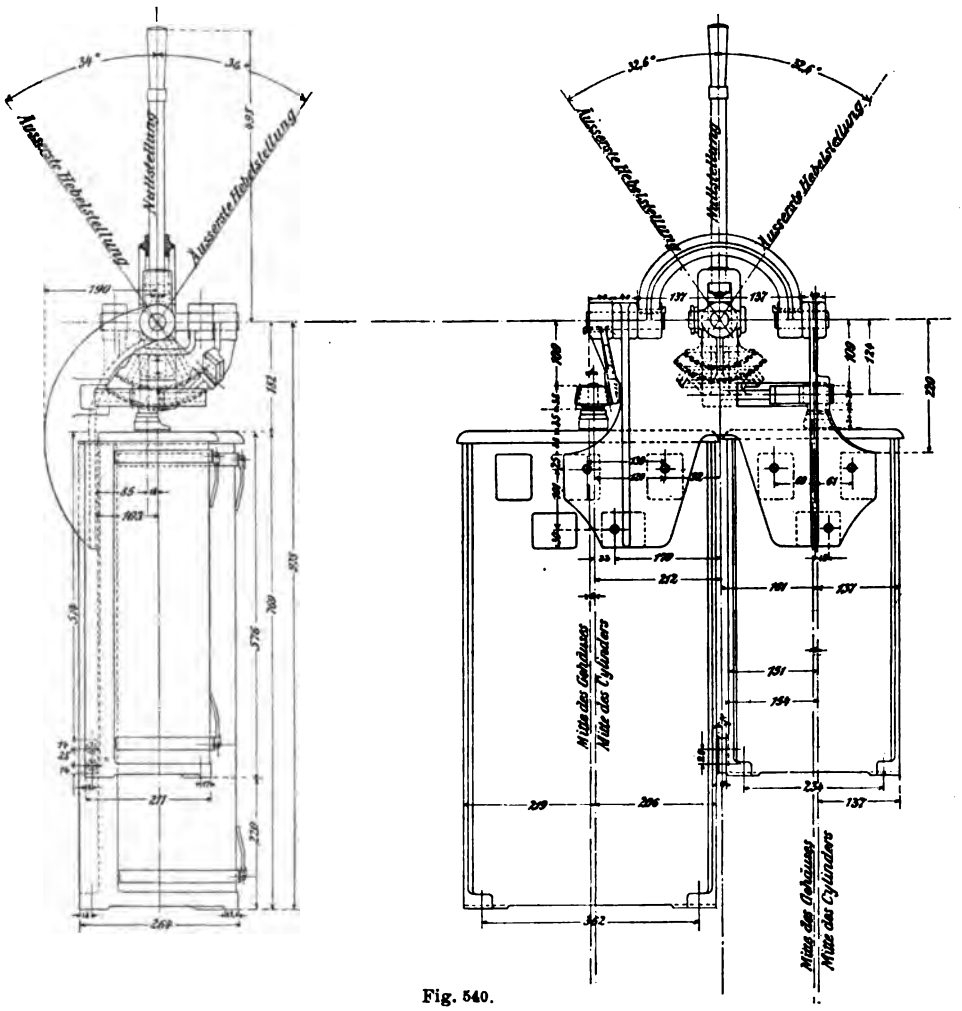


Fig. 540.

Die Kontroller können beliebig horizontal (Fig. 538) oder vertikal aufgestellt, durch einen Steuerhebel oder ein Handrad betätigt werden; es kann auch am Steuerhebel ein Arm oder Wellenstumpf zur gleichzeitigen Betätigung einer Bremse durch Seil oder Kette (Fig. 539) vorgesehen werden.

Digitized by Google

Um mehrere Kontroller mit einem Schalthebel zu betätigen, verwendet man nach Fig. 540 (Union E.-G., ausgeführt für die Hamburger Krane) ein Universalgelenk, das heutzutage von allen Firmen in den

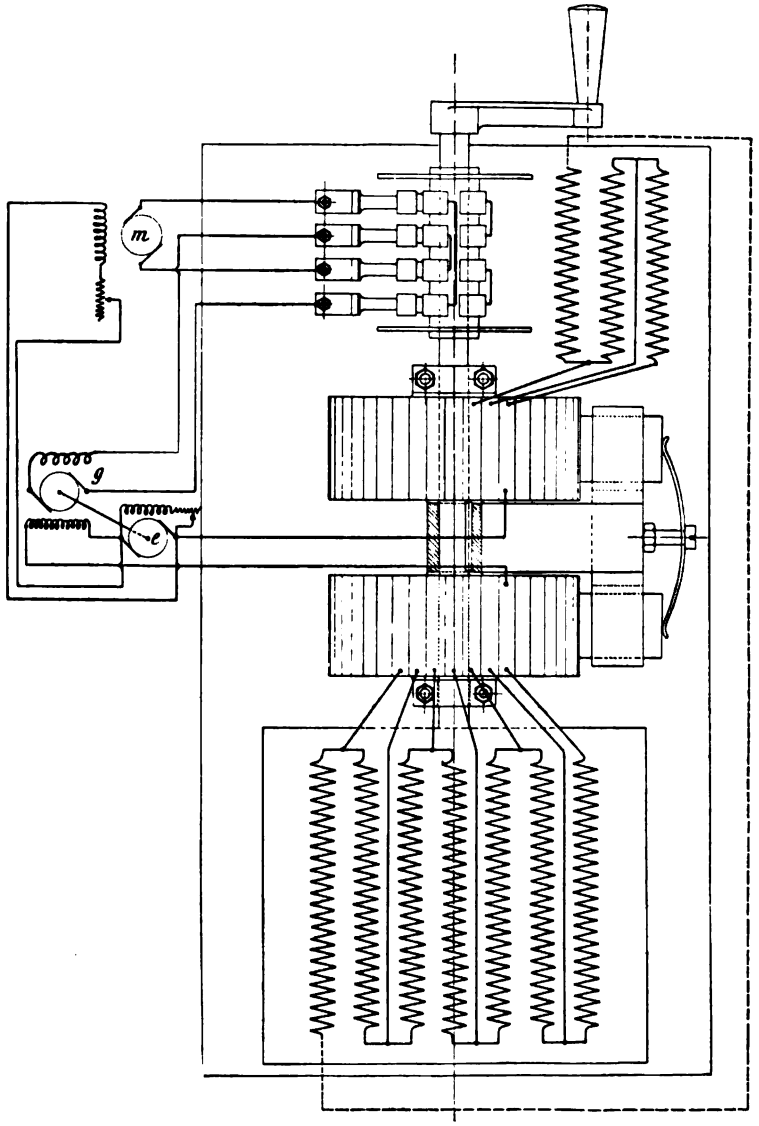


Fig. 541.

verschiedensten Formen geliefert wird. — Die Fig. 541 zeigt einen Kontroller zum Anlassen und Regeln von Motoren, die vermittels Anlaßdynamos betrieben werden: g ist der Generator für variable Spannung von Null bis E_k, er wird erregt von einer besonderen Erregermaschine e und

Digitized by Google

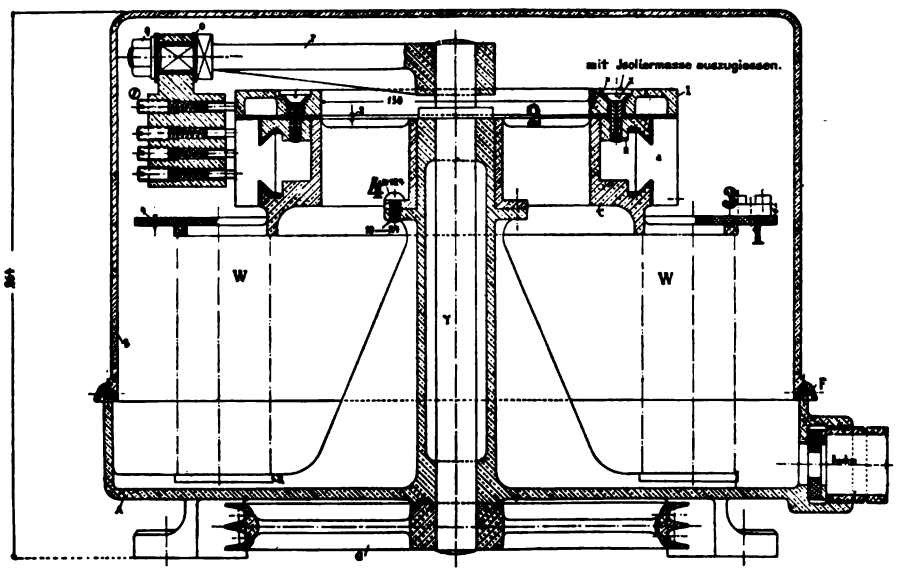


Fig. 542. Union E.-G.

außerdem für kleine Motorbewegungen durch eine Serienwicklung; m ist der Motor; oben im Kontroller sitzt der Umschaltezylinder, darunter stehen fest zwei gegeneinander um $^1/_2$ Segment versetzte Kollektoren, die mit den Regulierwiderständen verbunden sind. Auf den Segmenten schleifen Kohlenplungerbürsten (Ausführung der General Electric Co.).

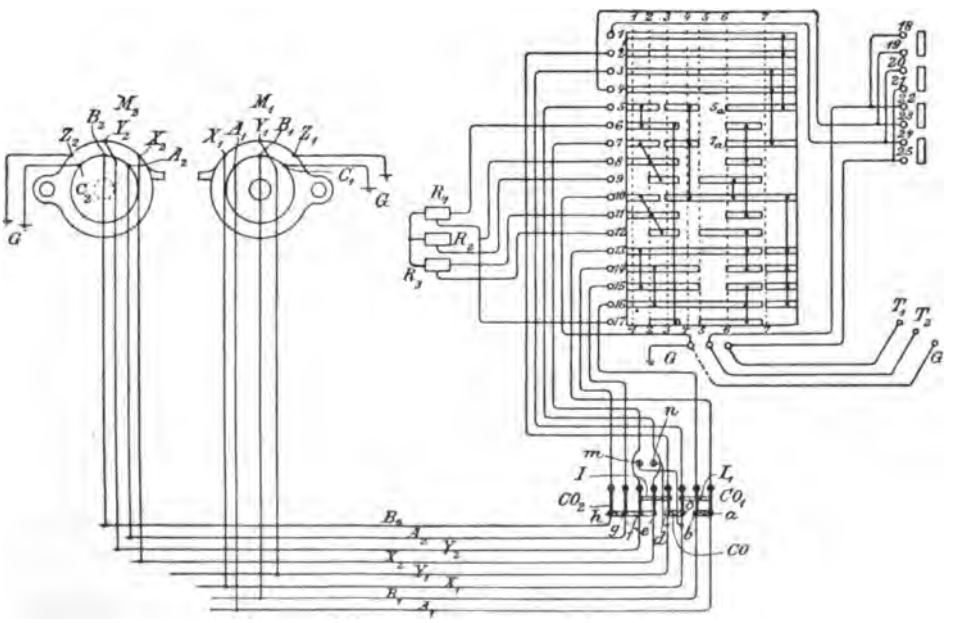


Fig. 543.

Digitized by Google

Die konstruktive Durchbildung eines solchen kollektorförmigen Anlaßapparats der Union E.-G. zur Regelung des Nebenschlußstroms erhellt aus Fig. 542, der Antrieb geschieht durch Seilscheibe, die Widerstandszylinder W sitzen unten im Kasten, die Schleifbürsten sind Kohlenstifte.

Der Apparat Fig. 543 ist ein sogen. Tandemparallelkontroller für zwei Drehstrommotoren in Kaskadenschaltung, der Potter & Case patentiert ist. Es ist eine Ständer- und eine Läuferleitung geerdet (G).

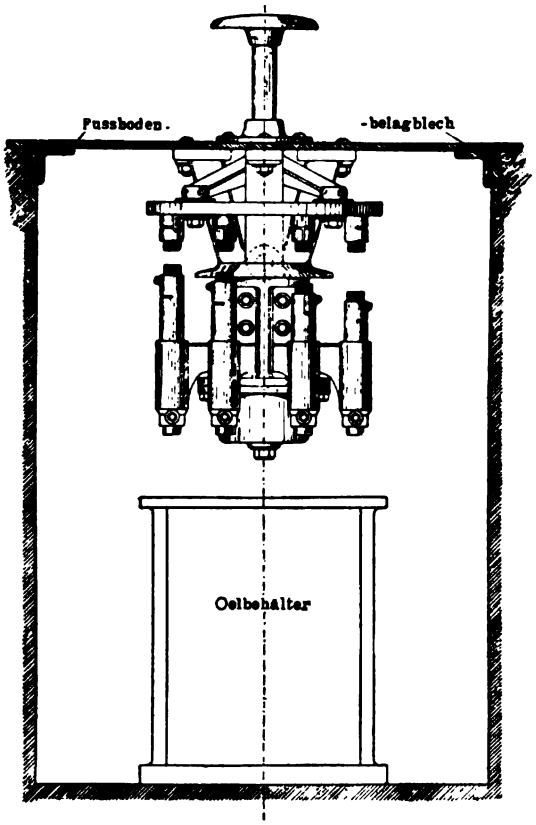


Fig. 544.

T_1 T_2 G sind die Netzanschlüsse; R_1 R_2 R_3 die Anlaßwiderstände im Ständer des zweiten Motors (U. S. P. 568458; 1896). Dieser Kontroller ist ziemlich kompliziert, er wird bei Verwendung von Flüssigkeitsanlassern einfacher[1]).

Die Kohlenanlasser[2]) sind besonders von den Firmen Siemens & Halske (Fig. 486) und Schuckert (Fig. 544) mit Erfolg entwickelt

[1]) Siehe unter Bahnen in Band V oder Niethammer, Elektr. Bahnsysteme.
[2]) Siehe Niethammer, Hebezeuge S. 169 ff.

Digitized by Google

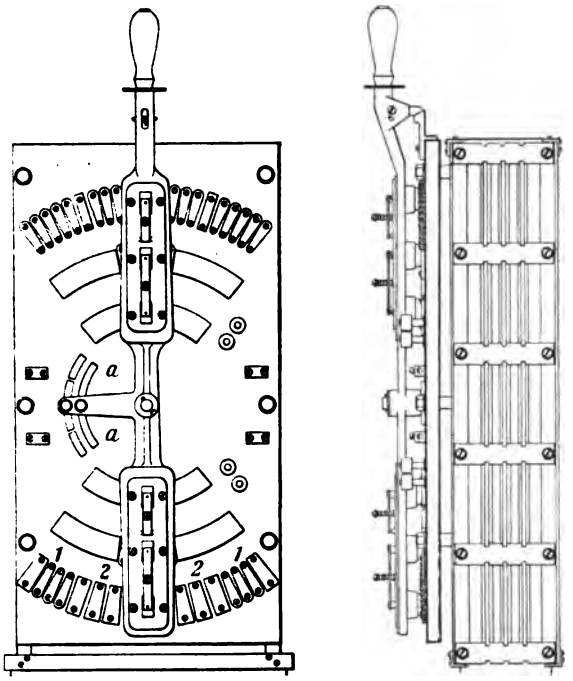


Fig. 545.

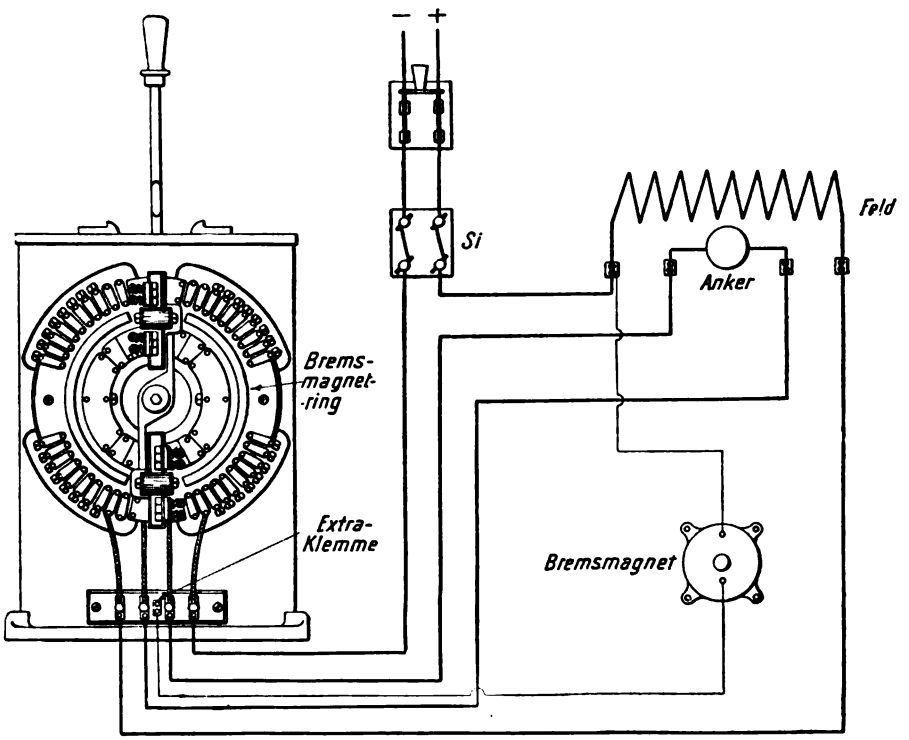


Fig. 546.

Digitized by Google

worden. In Fig. 486 legt sich eine Metallschiene allmählich gegen eine größere Anzahl federnd gelagerter Kohlenkontakte. Die endgültige Stromunterbrechung geschieht an einem besonderen oben auf dem Schalter sitzenden Kohlenschalter mit Funkenlöschung. — Die Cutler Hammer Co. baut für Hebezeuge die Anlasser Fig. 545. Es schleifen Plungerkolben auf Kupfersegmenten; der erste Satz (2) von Segmenten dient zum Bremsen (Motor als Dynamo), der zweite (1) zum Anlassen.

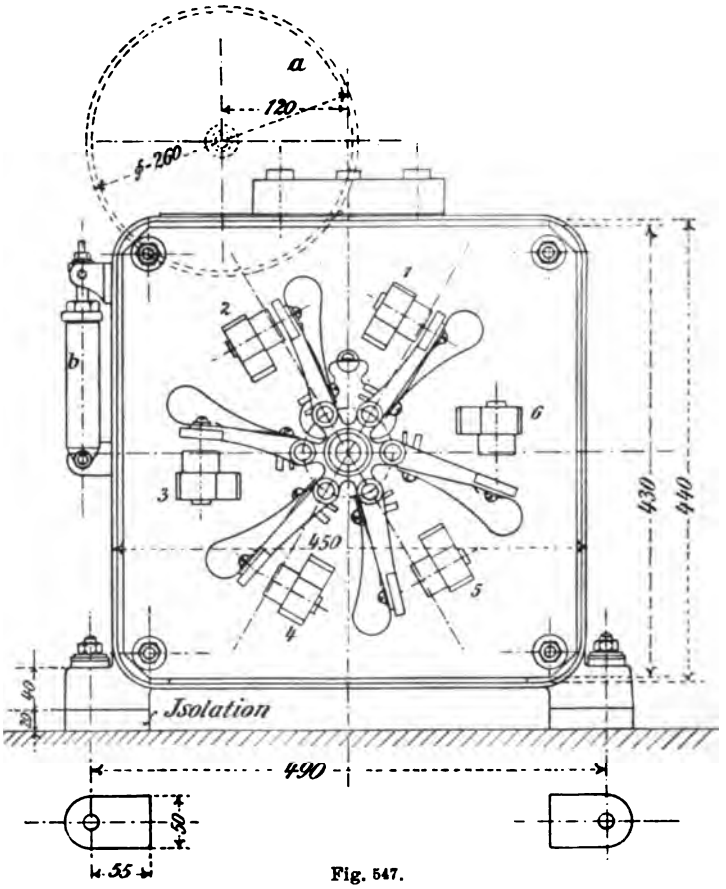


Fig. 547.

Die Hilfskontakte a sind für den Bremsmagneten bestimmt. Die Electric Controller Supply Co. (Amerika) baut ihre Krankontroller nach Fig. 546. Die Schleifkontakte sind Druckfinger ähnlich Fig. 485, die mit Funkenlöschung versehen sind. Der Hauptstrom wird am Anlasser in jedem Pol doppelt unterbrochen. Die inneren Kontakte sind bei Erregung vom Netz zum Bremsen bestimmt. Aehnliche Kontroller baut auch die Westinghouse Co.[1]). — Der Selbstanlasser Fig. 547

[1]) U.S.P. 774800.

Digitized by Google

von Siemens & Halske hat flache Kupfer-Kohlenkontakte, die durch einen Riemenantrieb vom Motor aus nacheinander kurzgeschlossen werden; a ist die Antriebscheibe, b ein Oelkatarakt. Neuerdings wird dieser Selbstanlasser nach Fig. 547a mit ebener Kontaktbahn ausgeführt. — Siemens & Halske haben auch Kontroller ausgeführt, deren kollektorähnlich angeordnete feste Kontakte aus Kohle bestehen.

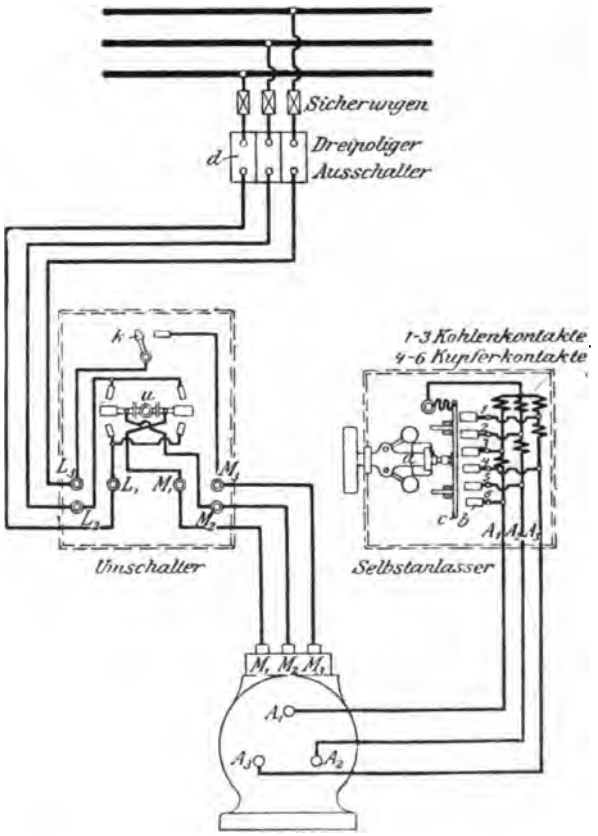


Fig. 547a.

Die Siemens-Schuckert-Werke bilden die Kohlenanlasser auch folgendermaßen aus: Eine Walze, die mit Hilfe eines Griffes oder Handrades gedreht wird, trägt eine Reihe gegen einander versetzter Anschläge oder Kurvenbahnen, welche in geeigneter Reihenfolge den kurzen Arm verschiedener doppelarmiger Hebel treffen. Am längeren Arm sitzen die beweglichen Kohlenkontakte, die die Widerstände kurzschließen. Die einzelnen Kontakte sind mit weit überstehenden Funkenwänden und magnetischen Funkenlöschern ausgerüstet (Electrician, 26. Mai 1905, S. 209 und Niethammer, Moderne Gesichtspunkte Fig. 170).

Digitized by Google

In Fig. 548 (D. R.-P. 144959) ist die Konstruktion eines Motoranlassers der Cutler Hammer Mfg. Co., der aus einer Reihe

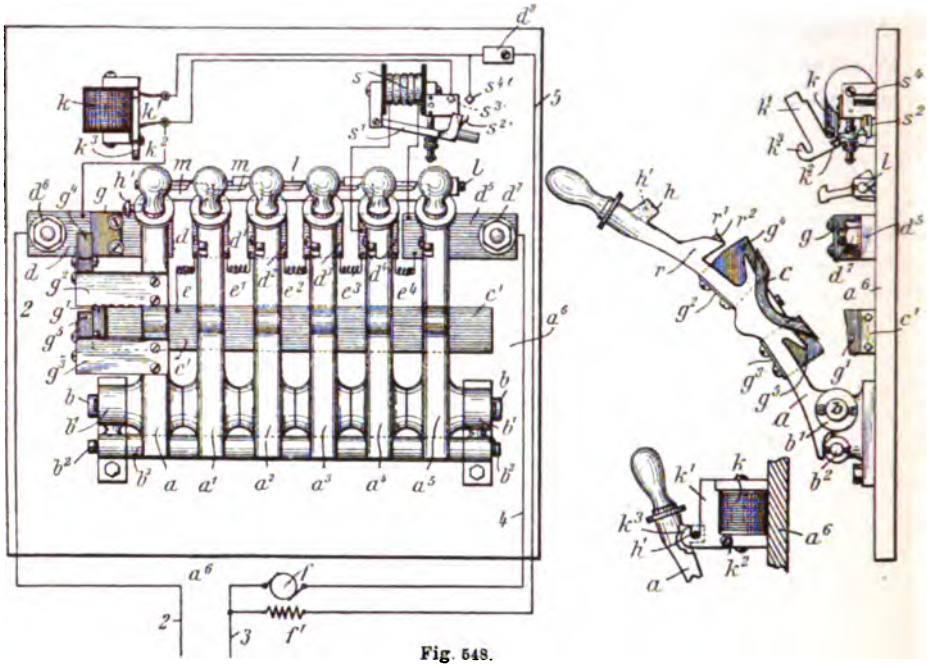


Fig. 548.

Einzelschalter besteht, gezeichnet in einer Ausführung, wie sie für Motoren bis 2000 PS und mehr benützbar ist. Die einzelnen Schalter werden von Hand eingeschaltet, aber sind mit Spannungs- und Ueberlastrelais sowie selbsttätiger Unterbrechung versehen. Vielfach werden jedoch die Einzelschalter durch eine Reihe Solenoide oder Elektromagnete ein- und ausgeschaltet, z. B. Fig. 549 von Voigt & Häffner: U ist der elektrisch bediente Umschalter, die Spulen C liegen an den Ankerklemmen, A ist der Hauptschalter mit Funkenlöschung, U schließt auch den Nebenschluß; jeder folgende Schalter legt vor die vorhergehende Relaisspule einen Widerstand zur Verringerung des Stromes (D. R.-P. 136569[1]); siehe auch D. R.-P.

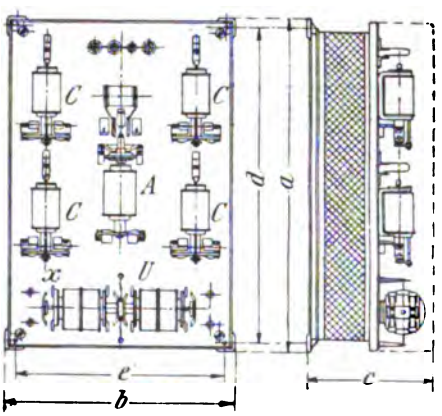
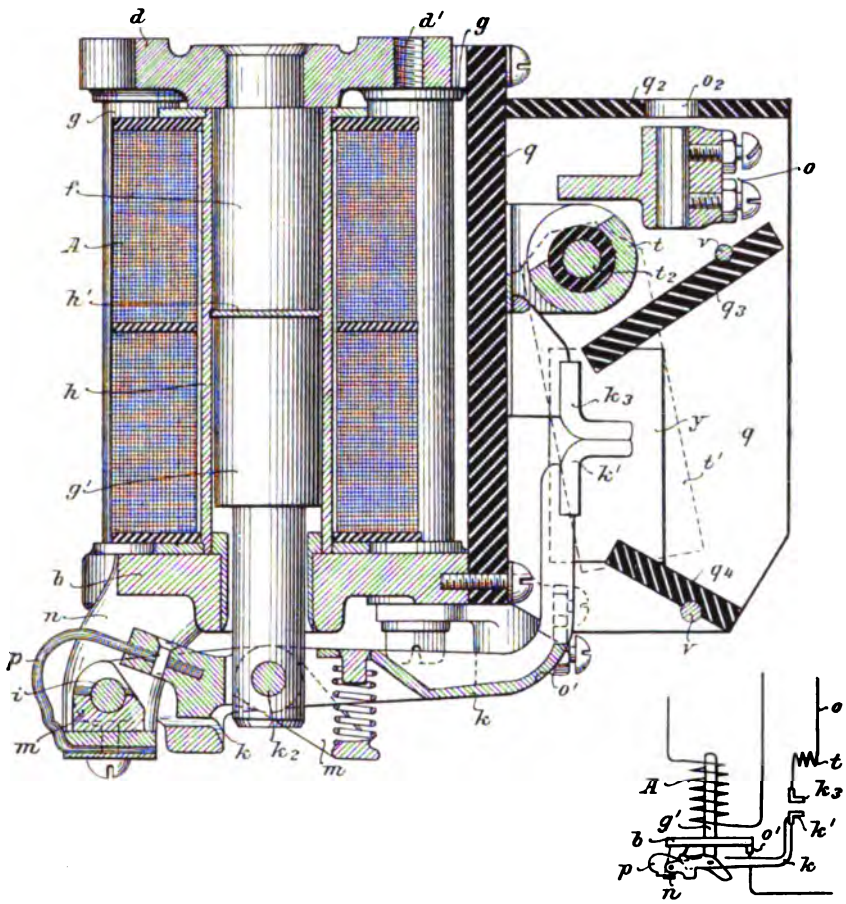


Fig. 549.

[1]) Sowie D. R.-P. 150593

Digitized by Google



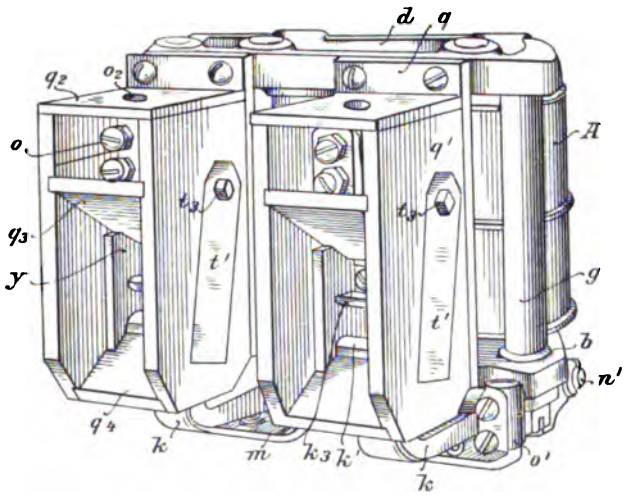


Fig. 550.

Digitized by Google

Nr. 138399 von Lahmeyer-Frankfurt, worin jedes Relais beim Schalten den Kurzschluß des folgenden aufhebt). Außer für Hebezeuge und Hüttenwerksmaschinen finden diese Anlaßschalter hauptsächlich für die Steuerung großer Eisenbahnzüge[1]) Verwendung, wobei sie entweder durch Elektromagnete, Elektromotoren oder elektrisch gesteuerte Druckluftkolben betätigt werden. Die Konstruktion eines solchen Einzelschalters, wie er von der General Electric Co. ausgeführt wird, erhellt aus Fig. 550: A ist der Schaltmagnet, $k_3 k'$ der Hauptkontakt, der ringsum durch Isolierwände $q' q_3 q_4$ abgedeckt ist, t ist ein Funkenlöscher.

Ist die Beschleunigungsenergie beim Anlassen sehr groß, so kann es wirtschaftlich sein, einen Motor mit starker Nebenschlußregelung zu verwenden; man läßt dann zunächst mittels Ankeranlaßwiderstand an und steigert hierauf die Tourenzahl ohne erhebliche Verluste mit Hilfe des Nebenschlußreglers.

44. Tourenregler.

In manchen Fällen wird die Anlaßvorrichtung mit einer Einrichtung zum Tourenregulieren kombiniert. Zunächst kann man den Anlaßwiderstand selbst teilweise zum Herabdrücken der Tourenzahl benützen. Für diesen Zweck wird man die einzelnen Widerstandsstufen annähernd gleich machen. Die Widerstände und Kontakte sind in diesem Falle entsprechend reichlich zu dimensionieren oder besonders zu kühlen. Die Tourenreduktion ist von der Größe des Ankerstroms direkt abhängig. Ist sie z. B. bei vollem Strom 50 %, so beträgt sie bei halbem Strom nur noch 25 %. Soll die Tourenzahl mit Hilfe von Vorschaltwiderständen stark herabgedrückt werden, d. h. mehr als um 50 %, so wird es rationell, außer dem Vorschaltwiderstand noch einen Widerstand parallel zum Anker zu verwenden; jedenfalls muß man bei so großer Tourenänderung von der geometrischen Abstufung absehen, da sonst bei geringer Tourenzahl die Toursprünge zu groß werden.

Die Kontakte für die Tourenregulierung im Nebenschlußkreis kann man direkt auf die Anlasserplatte setzen (Fig. 479); liegt jedoch der Nebenschlußregulator für sich, so muß er vom Anlasser aus ein- und ausgeschaltet werden; besonders ist dafür zu sorgen, daß beim Anlassen der ganze Erregervorschaltwiderstand eventuell durch einen Hilfsschalter zwangsläufig kurzgeschlossen ist[2]). Bei 25 % Toursteigerung ist der Erregerstrom etwa 65 % des normalen Erregerstroms. Für einen 3 PS-

[1]) Siehe Z. f. E., Wien, Dezember 1904, Zugsteuerungen und dieses Werk unter Bahnen, ferner Niethammer, Elektr. Bahnsysteme der Gegenwart.

[2]) Siehe D. R.-P. 124055 von Schuckert.

Digitized by Google

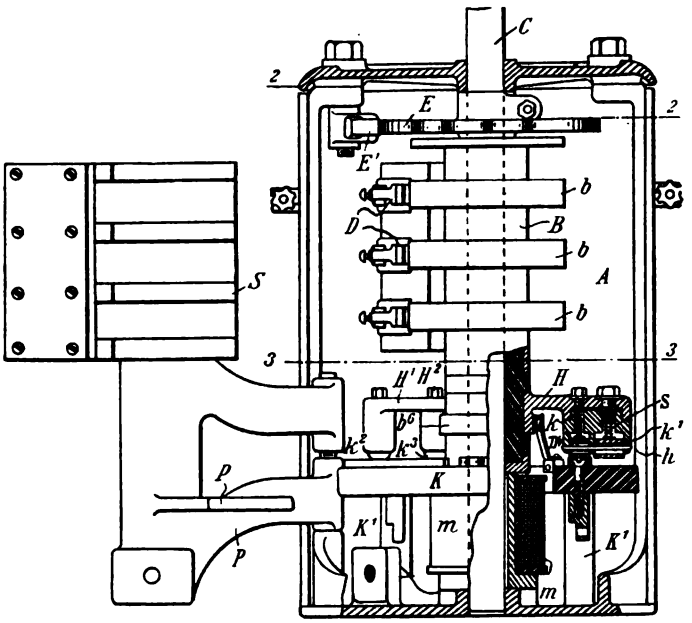


Fig. 551 a.

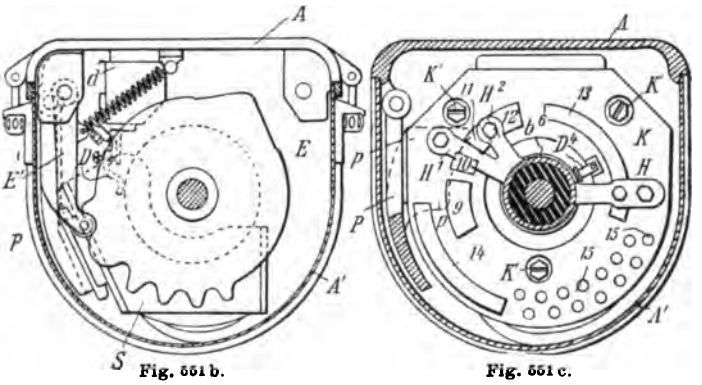


Fig. 551 b.

Fig. 551 c.

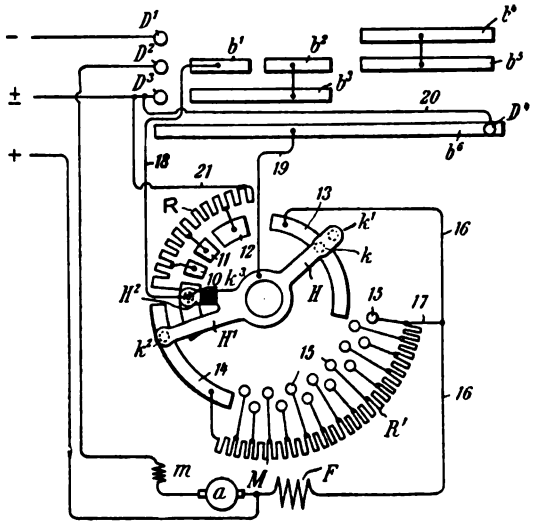


Fig. 551 d.

Digitized by Google

Motor der Maschinenfabrik Oerlikon mit weitgehender Tourenregelung durch Feldschwächung gilt folgende Tabelle:

Touren:	1500	1000	750	500	350 pro Min.
Erreger- leer:	0,12	0,21	0,29	0,50	0,80 Amp.
strom voll:	0,06	0,12	0,18	0,30	0,50 „
Wirkungsgrad:					
1/1 Last	66	72	73	74	73 %
1/2 „	59	71	74,5	76	74 %

Der Motor hat eine Kompensationswicklung.

Statt Widerstand vor die Nebenschlußwicklung zu schalten, kann man auch die Erregerspulen verschiedenartig gruppieren, was aber zu einem komplizierten Schalter und meist zu starker Funkenbildung führt:

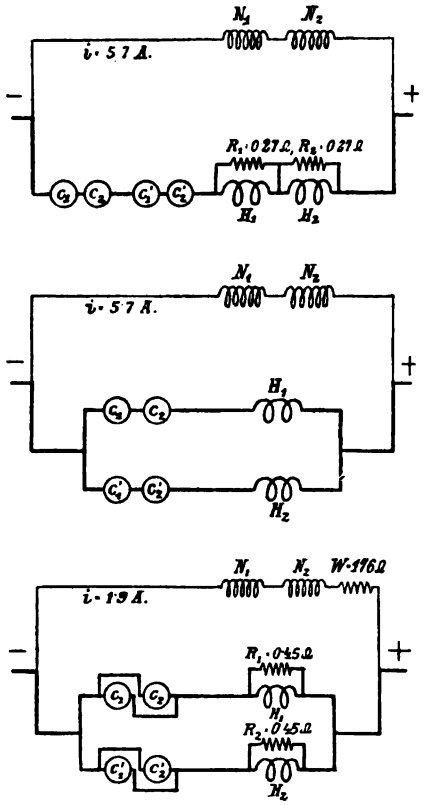


Fig. 552.

Sind die Feld-AW bei sechs in Serie geschalteten Spulen = AW_f, so steigen sie bei zwei parallelen Gruppen zu drei Spulen auf 2 AW_f, bei drei parallelen Gruppen zu zwei Spulen auf 3 AW_f und bei sechs parallelen Spulen auf 6 AW_f. Motoren mit Nebenschlußregelung werden neuerdings vielfach mit Hilfspolen ausgerüstet.

Der Kontroller Fig. 551a bis d der General Electric Co. (E. P. 12839 v. J. 1903) ist zum Anschluß an ein Dreileiternetz bestimmt und mit reichlicher Nebenschlußregulierung ausgerüstet. Er dient zum Betrieb von Buchdruckerpressen. Im oberen Teil sitzt die Umschaltwalze, an deren unterem Ende ein Kontaktarm H befestigt ist; dieser trägt eine Reihe Plungerbürsten, die auf einem Flachschalter die verschiedenen Widerstände R im Anker und R′ im Feld schalten. Ganz unten im Kasten sitzt die Funkenlöschspule m. — Eine sehr weitgehende Tourenregelung ist bei Gleichstrom durch Verwendung mehrerer Doppelkommutatormotoren in Serien- und Parallelschaltung unter Zuziehung von Nebenschlußregelung möglich (Fig. 552)[1]: Es

[1]) Nach Hobart, Z. f. E., Wien 1903, S. 382.

Digitized by Google

handelt sich um zwei Doppelkommutatormotoren mit Serien- und Nebenschlußerregung.

Das Verhalten eines Doppelkommutatormotors für 30 PS, 50 Touren, 220 Volt (Serienmotor) charakterisiert folgende Tabelle:

Strom total		10	30	50	90	140	210
Tourenzahl	parallel[1]) . . .	—	480	300	190	145	120 pro Min.
	in Serie . . .	310	120	80	50	—	—
Wirkungsgrad	parallel . .	—	81	87,5	86,5	81,5	73,5 %
	in Serie . .	70	81,5	74	56	—	—
PS	parallel	—	7,5	12,5	23	34	46,5
	in Serie	2	7,3	11,2	14,9	—	—

Alle früher (S. 345) angegebenen Methoden zum Anlassen können auch zum Tourenregeln[2]) benützt werden. Außerdem kann man die Tourenzahl der Gleichstrommotoren durch Aenderung der Ankerwindungszahl und durch Verstellen des Luftspaltes (Fig. 553, von Hundt,

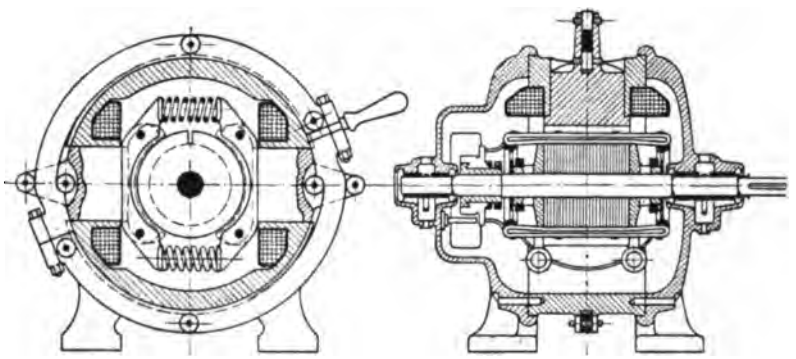


Fig. 553.

6 PS Motor, 350 bis 500 Touren, Luftspalt 3,5 bis 15,6 mm) variieren; bei Drehstrom[3]) durch Aenderung der Polzahl, durch die Kaskadenschaltung zweier Motoren (Rotoren in Serie) oder durch Aenderung der Periodenzahl.

Der Kontroller der Crocker Wheeler Co. Fig. 554 gestattet, einen Motor mit folgenden sechs verschiedenen Spannungen zu speisen:

78	$78 + 235 = 313$
157	$157 + 235 = 392$
235	$78 + 157 + 235 = 470$ Volt.

[1]) Kommutatoren parallel oder in Serie.

[2]) Siehe auch Bd. I, S. 278.

[3]) Siehe Bd. II, bezüglich Kaskadenschaltung auch Bd. IV u. V, Bahnen.

Digitized by Google

Er hat 12 Geschwindigkeiten, und zwar 6 ohne und 6 mit dem Widerstand W im Ankerkreis; die Tourenänderung ist etwa 1 : 10. Die Wir-

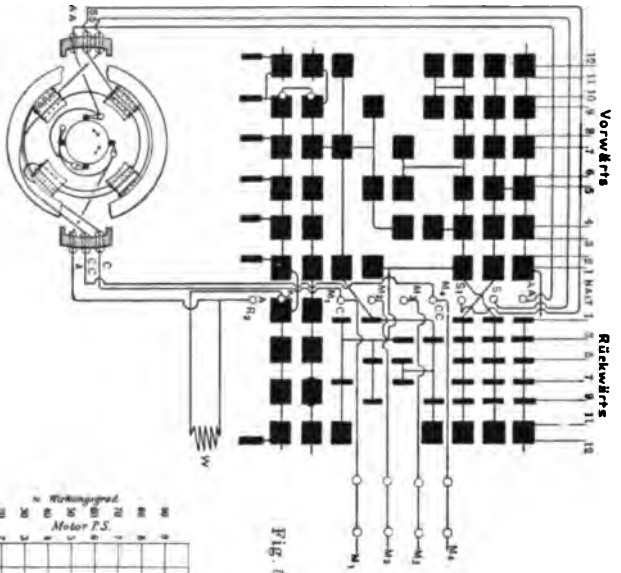


Fig. 554.

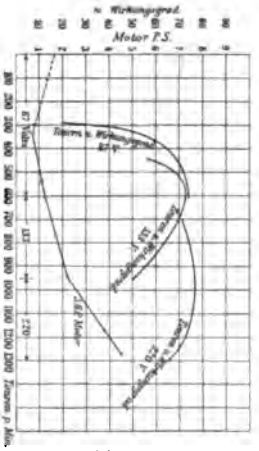


Fig. 555.

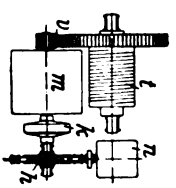
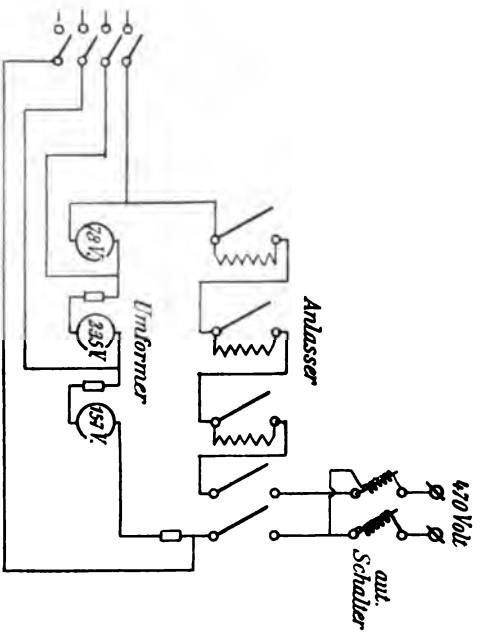


Fig. 556.



kungsgradkurven eines 5 PS-Motors für 87, 133 und 220 Volt zum Antrieb einer Buchdruckerpresse zeigt Fig. 555.

Digitized by Google

In Fig. 556 sind zwei getrennte Motoren zur Tourenregelung verwendet (D. R.-P. 154688):

Um mit einer und derselben Winde bei großen Lasten mit kleiner und bei kleinen Lasten mit großer Geschwindigkeit arbeiten zu können, ist die Winde mit zwei Kraftmaschinen m n ausgerüstet, von denen die größere m bei gelöster Kupplung k die Trommel t mit kleiner Uebersetzung schnell antreibt, während sie leer mitläuft, wenn die kleinere n mit mehrfacher Uebersetzung h v arbeitet; n kann auch bloß als Anlaßmotor benützt werden.

45. Selbstanlasser[1]).

Die Anlasser können ebenso wie die Schalter und Regulatoren selbsttätig bedient werden, und zwar kann das Ein- und Ausschalten geschehen durch:

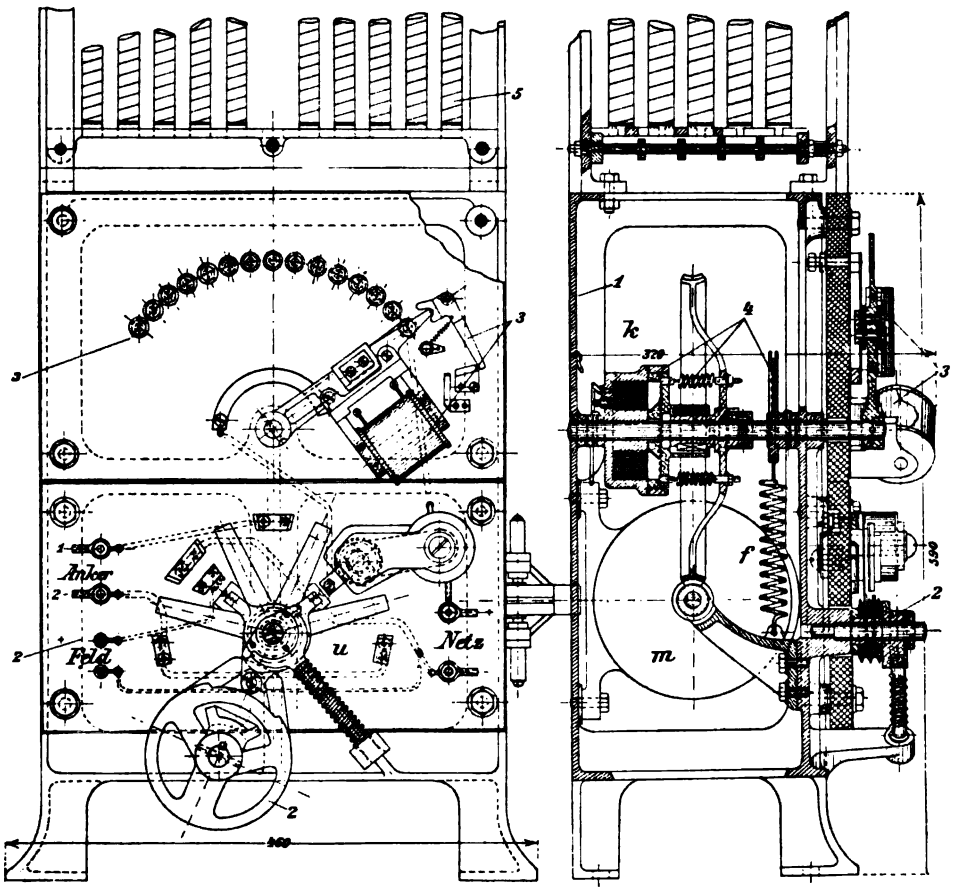


Fig. 557.

[1]) Druckknopfsteuerungen und verschiedene Selbstanlasser für Hebezeuge und Pumpen finden sich in Bd. IV u. V.

Digitized by Google

1. Einen kleinen Hilfsmotor m von 1/4 bis 1/8 PS (Fig. 557, Union E.-G.). Der Motor m wird durch den Umschalter u des Hauptmotors ans Netz gelegt, auf der Achse von m sitzt eine Schnecke, welche in das lose auf der Anlasserwelle sitzende Schneckenrad eingreift. Dieses wird durch eine elektromagnetische Kupplung k mit der Anlasserwelle gekuppelt. Zum Ausschalten wird nur diese Kupplung elektrisch gelöst und der Anlasser springt in die Nullstellung, was z. B. auch beim Ausbleiben der Spannung eintritt.

2. Durch einen oder eine Reihe Schaltmagnete (Fig. 549 u. 558 der Cutler Hammer Co.); diese Magnete können durch einen Handschalter

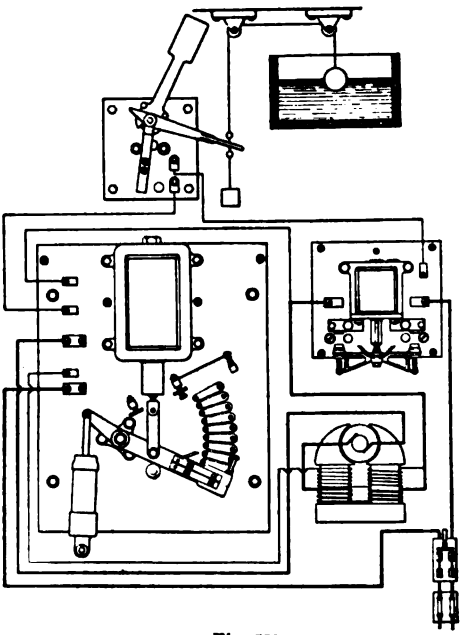


Fig. 558.

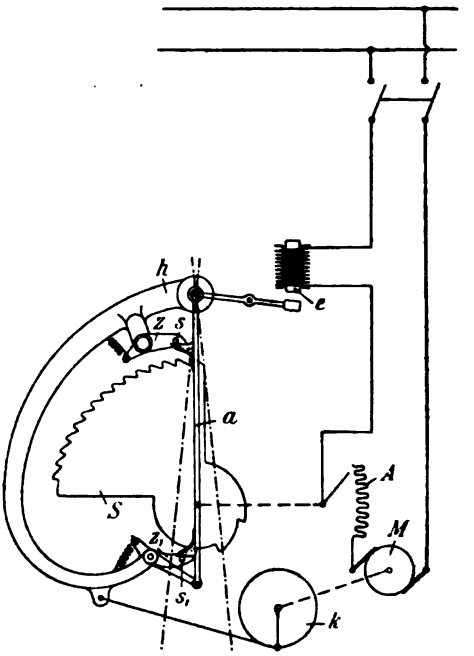


Fig. 559.

oder durch einen elektromagnetischen Schalter mit Dämpfung oder aber von den Ankerklemmen des Motors aus nacheinander betätigt werden.

3. Durch irgend einen mechanischen Antrieb von der Motorachse aus, z. B. mittels Schnecke und Schneckenrad oder mittels Zahnsegment und Klinke nach Fig. 559 von Lahmeyer-Frankfurt: Die Motorwelle dreht die Kurbel k und versetzt h in Schwingungen, der Magnet e gibt nur bei einem bestimmten Stromminimum die Schaltklinke z frei, die dann von dem Widerstand A eine Stufe abschaltet. Beim Ausschalten greift der untere Zahn Z_1 ein[1]).

[1]) In D. R.-P. 141730 gibt Klöckner-Cöln eine ähnliche Anordnung, wobei zum Schluß das Hin- und Herschwingen des Hebels h aufgehoben wird.

Digitized by Google

4. Durch einen Fliehkraftregler, der von der Motorachse, z. B. durch Riemen, betätigt wird (Fig. 547 u. 547a).

5. Durch die Schwerkraft oder durch Federkraft in Verbindung mit irgend einem Hemmwerk (Windflügel, Pendel, Flüssigkeitskatarakt bezw. Oel- oder Luftbremse), das ein allmähliches, stetiges Einschalten bedingt (Fig. 560). Das Ausschalten geschieht dabei in der Regel durch Federkraft oder von Hand:

In Fig. 560 der A. E.-G. Berlin wird vermittels der Kette A das Kettenrad B und mit ihm die Antriebswelle C um 150° nach der einen oder anderen Seite je nach der gewünschten Drehrichtung umgelegt. Hierdurch wird zunächst mittels der

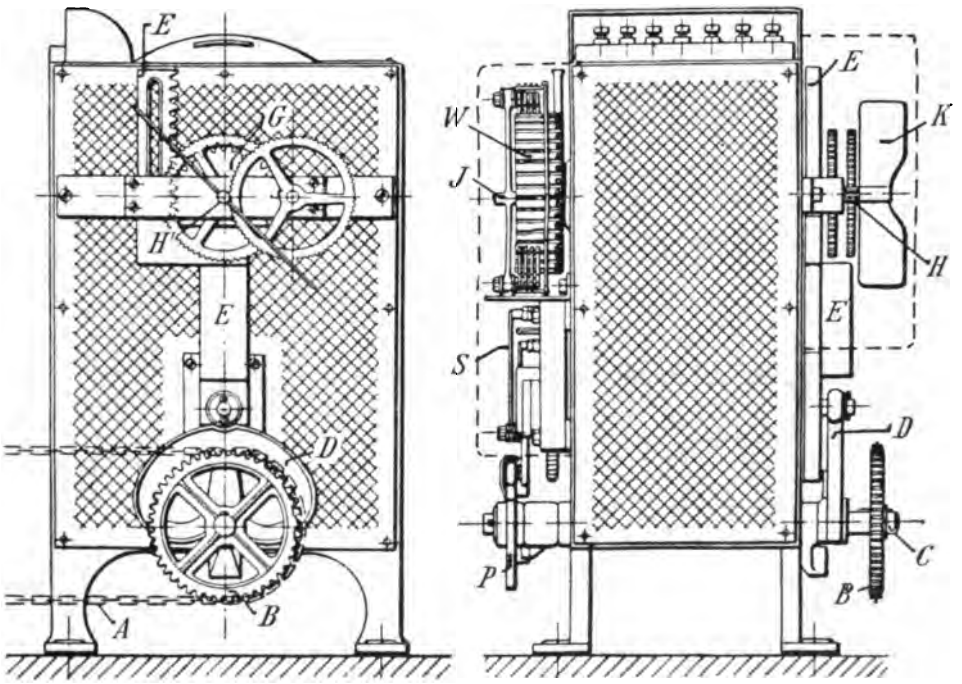


Fig. 560.

auf dieser Welle befindlichen Steuerscheibe P der Stromwender eingeschaltet. Gleichzeitig nimmt auch die auf derselben Welle sitzende exzentrische Scheibe D, auf welcher in einer Rast das Gleitstück E ruht, an der Drehung teil, so daß dieses nunmehr frei gewordene Gleitstück durch sein Eigengewicht herabgezogen wird. Das obere Ende von E, welches als Zahnstange ausgebildet ist, greift hierbei in die Zähne eines Segmentes oder Zahnrades G ein. Letzteres trägt auf seiner Achse den Bürstenhalter J, dessen Bürsten, auf den Kontakten W schleifend, das Aus- und Einschalten des Widerstandes bewirken. Von dieser Achse aus wird ferner noch mittels doppelter Zahnradübersetzung aus dem Langsamen in das Schnelle der Windflügel K angetrieben. Der letzte Trieb H' sitzt dabei am Windflügel selbst. Dieser Windflügel wird bei dem Herabsinken des Gleitstückes E in schnelle Rotation versetzt und regelt dergestalt in gewünschter Weise die Umdrehungsgeschwindigkeit der Achse

Digitized by Google

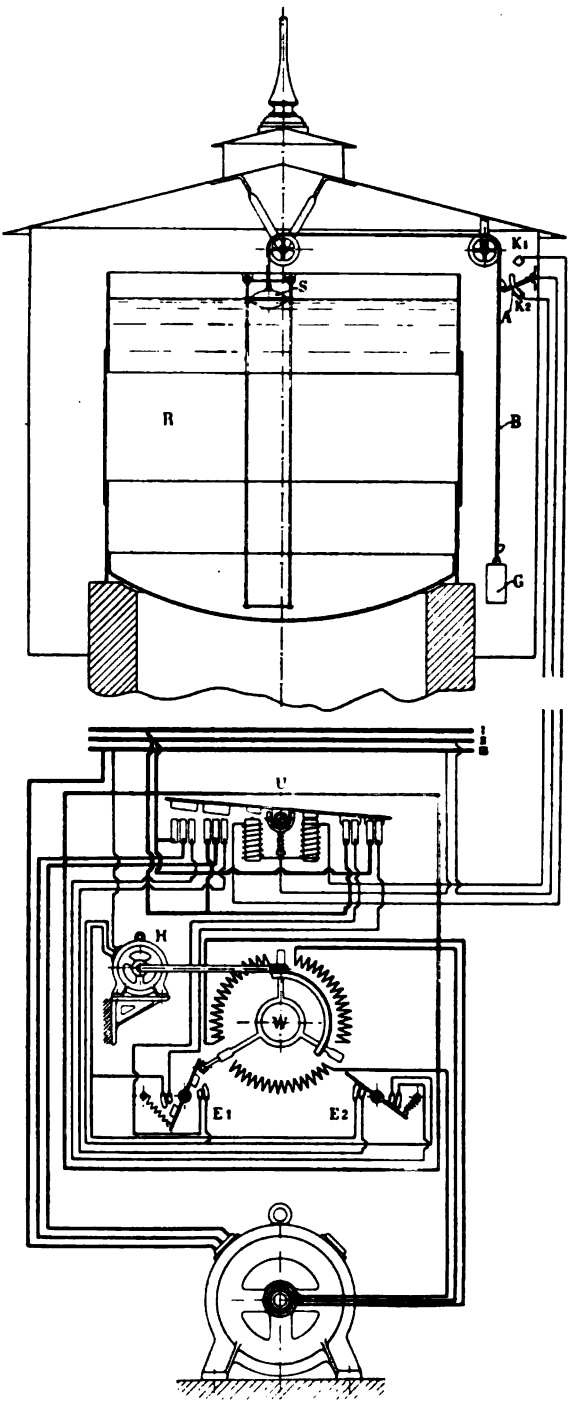


Fig. 562.

mit dem Bürstenhalter J, welcher sich auf der kommutatorartig angeordneten Widerstandskontaktbahn bewegt und dabei die einzelnen Widerstandsabteilungen langsam ausschaltet.

Das Ausschalten des Motors erfolgt, indem die Steuervorrichtung wieder in die ursprüngliche Lage zurückgebracht wird. Damit das Ausschalten beliebig schnell vor sich gehen kann, ist zwischen Windflügel K und Achse des Bürstenhalters J ein Sperrrad

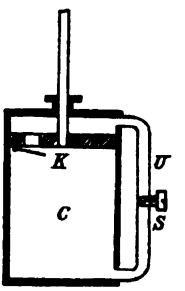


Fig. 561.

mit Klinke angeordnet, so daß Flügel K beim Ausschalten außer Tätigkeit bleibt.

Die meisten Pendelhemmwerke verursachen ein störendes Geräusch, weshalb sie z. B. von der A. E.-G. wieder aufgegeben wurden.

Die Dämpfung durch einen Glyzerinkatarakt mit Umströmventil S zeigt Fig. 561[1]) (nach Mosler). Die Firma C. Flohr läßt durch die nach unten

[1]) Die Justierung der Dämpfung geschieht durch das Ventil S.

Digitized by Google

fallende Anlasserstange mittels Schraubenspindel und Zahnräder eine Schleuderbremse in Rotation versetzen, welche die Schaltbewegung durch Reibung regelt.

In Fig. 562 ist noch ein selbsttätiger Anlasser der A. E.-G. Berlin mit elektrischer Fernschaltung von einem Schwimmer aus entworfen. Der Umschalter U wird durch die Hilfsschalter $K_1 K_2$ betätigt, den Hilfsmotor H mit Schneckenantrieb schalten die Endschalter E_1 oder E_2 ab.

Alle selbsttätigen Anlasser, die von der Motorwelle aus mechanisch oder von der EMK. an den Ankerklemmen betätigt werden, müssen auf der ersten Stufe einen derartigen Widerstand besitzen, daß der Motor bestimmt anläuft[1]), da er andernfalls überhaupt nicht in Betrieb kommt und dann meist ausbrennt. Die Anlaßzeit wird bei dieser Schaltmethode bei großem Drehmoment lang, bei kleinem kurz sein. Erfolgt der Antrieb des Anlassers durch einen Hilfsmotor oder ein Hemmwerk, so ist die Anlaßzeit unabhängig von der Belastung, solange man nicht ein Relais oder eine elektromagnetische Kupplung einschiebt, welche die Weiterschaltung des Anlaßhebels jeweils so lange aufheben, als der Strom nicht eine gewisse untere Grenze erreicht hat. Bei dieser zweiten Methode wird der Anlaßwiderstand stetig ausgeschaltet, mag der Motor auf der einen Stufe anlaufen oder nicht. Für beide Fälle ist zur Sicherheit ein Maximalausschalter mit geeignetem Zeitelement (S. 227) in die Hauptleitung zu schalten. In dem Oesterr. P. 17469 ist eine Einrichtung für Anlasser der zweiten Gattung vorgesehen, welche bei großem Drehmoment des Hauptmotors die Schaltbewegung elektrisch stark bremst, bei kleinem Drehmoment jedoch nicht. Bei der ersten Art von Anlassern ist es möglich, die Erregerströme der Schaltmagnete so einzurichten, daß die Einschaltezeiten eine geometrische Reihe bilden.

46. Anlaßdynamos[2]) und Puffermaschinen.

Zum Anlassen großer Motoren, die große Beschleunigungskräfte auszuüben haben, oft reversiert werden und weitgehende Tourenregelung besitzen sollen, benützt man neuerdings vielfach Anlaßdynamos. Eine solche Anlaßanordnung (Leonard) ist bereits aus Fig. 541 ersichtlich. Allen diesen Methoden ist gemeinsam, daß im Hauptstromkreis gar nicht oder nur strom- und spannungslos geschaltet wird, die gesamte

[1]) Der Stromstoß ist also groß, sie dürfen also in empfindlichen Netzen nicht verwendet werden.

[2]) Siehe Niethammer, Mod. Ges. f. d. Entwurf elektr. Masch. u. App., S. 141 ff. und Bd. IV dieses Werkes.

Digitized by Google

Regelung geschieht im Nebenschlußkreis der Anlaßdynamo. Die zu schaltenden Ströme sind deswegen sehr klein, nur wenige Prozente des Hauptstromes, allerdings ist die Selbstinduktion des betreffenden Kreises hoch. Nennenswerte Verluste in Widerständen treten nicht auf, weder beim Anlassen noch beim Tourenregeln. Das Schema des Anschlusses einer Anlaßdynamo an ein vorhandenes Netz von 500 Volt ist in Fig. 563 gegeben[1]) (Schuckert & Co.); dabei wird die Anlaßdynamo B, deren Spannung von +500 bis —500 Volt variiert werden kann, durch einen Motor A angetrieben. Bei Berechnung des Wirkungsgrades einer solchen Anlage sind die gesamten Verluste in dem dauernd laufenden Anlaßaggregat zu berücksichtigen; diese Verluste wirken namentlich bei langen

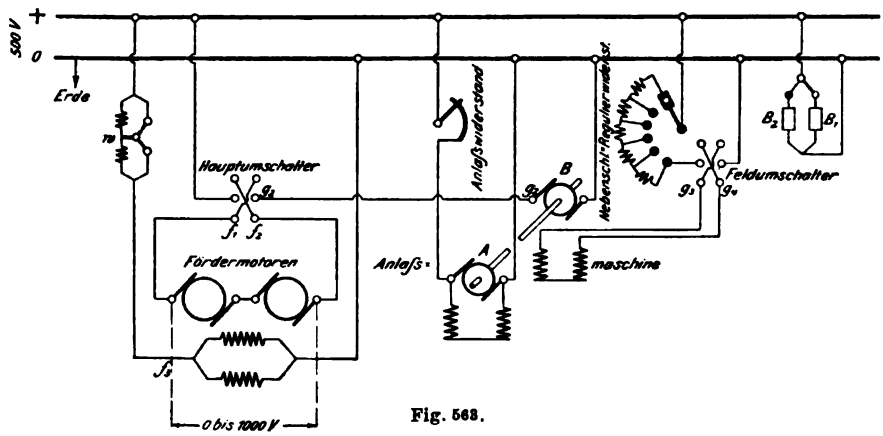


Fig. 563.

Arbeitspausen sehr nachteilig. Ferner ist zu beachten, daß diese Anlaßdynamos elektrisch und mechanisch sehr sorgfältig auszulegen sind, wegen der weitgehenden Feldänderungen und wegen der meist verwendeten hohen Antriebstourenzahl. Es dürfte kaum möglich sein, einwandsfreie Kommutation ohne Hilfspole (Wendepole) oder ohne Kompensationswicklungen[2]) zu erzielen; bei geringer Tourenzahl und automatischer Bürstenverstellung sind allerdings gewöhnliche Maschinen möglich.

Der Antriebsmotor der Anlaßdynamo kann auch ein Drehstrommotor sein (Fig. 564 von Ilgner): H ist der Drehstrommotor mit Rotorwiderstand R, D ist die Anlaßdynamo mit eigener Erregermaschine E, das Feld von D wird durch den Kontroller A geregelt[3]). Es ist indes zu erwarten, daß die ein- und mehrphasigen Kommutatormotoren in direkter Weise ohne Umformung in Gleichstrom eine rationelle Tourenregelung und Anlaßmethode ermöglichen werden, wobei entweder eben-

[1]) Hoffmann, Z. V. D. I. 1902, S. 1690.
[2]) Bd. I, S. 167, 447.
[3]) F ist der zu betreibende Motor.

Digitized by Google

falls die Generatorspannung durch Feldänderung variiert wird, oder aber vor den Motor Reguliertransformatoren oder Potentialregulatoren gelegt werden; auch Bürstenverstellung innerhalb weiter Grenzen ist möglich.

Die raschlaufenden Anlaßdynamos erhalten häufig zusätzliche Schwungmassen, um die großen Stromstöße vom Netz fernzuhalten. Dazu ist es erforderlich, daß die Tourenzahl dieser Dynamos, die man zweckmäßig Puffermaschinen nennt, bei zunehmendem Energiebedarf abnimmt und umgekehrt. Bei Gleichstrom ist das in einfachster Weise dadurch möglich, daß man dem Antriebsmotor A (Fig. 563) eine Serienerregung gibt, die vom Strom der variabel belasteten Stromverbraucher (Fördermotoren) gespeist wird und die Nebenschlußwicklung verstärkt.

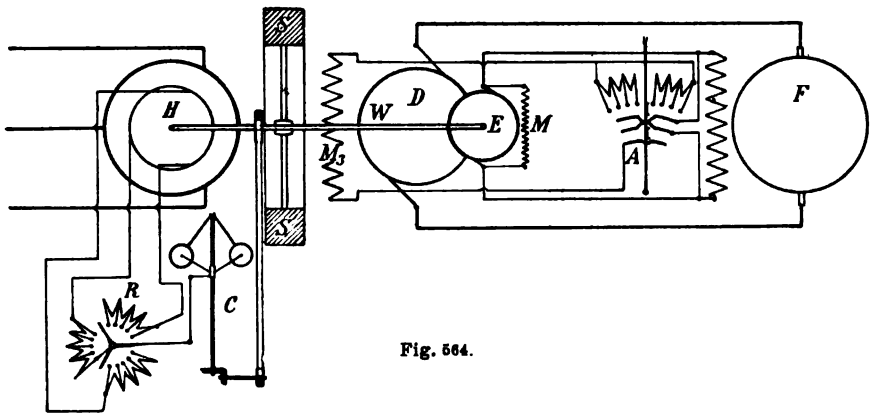


Fig. 564.

Beträgt die Tourendifferenz zwischen stärkster und schwächster Belastung 50 %, d. h. sinkt die Tourenzahl maximal auf die Hälfte des Höchstwertes, so gibt das Schwungrad $^3/_4$ seiner gesamten Energie $\frac{mv^2}{2}$ ab, so daß es überflüssig ist, tiefer als auf 50 bis 70 % der Höchsttourenzahl zu gehen.

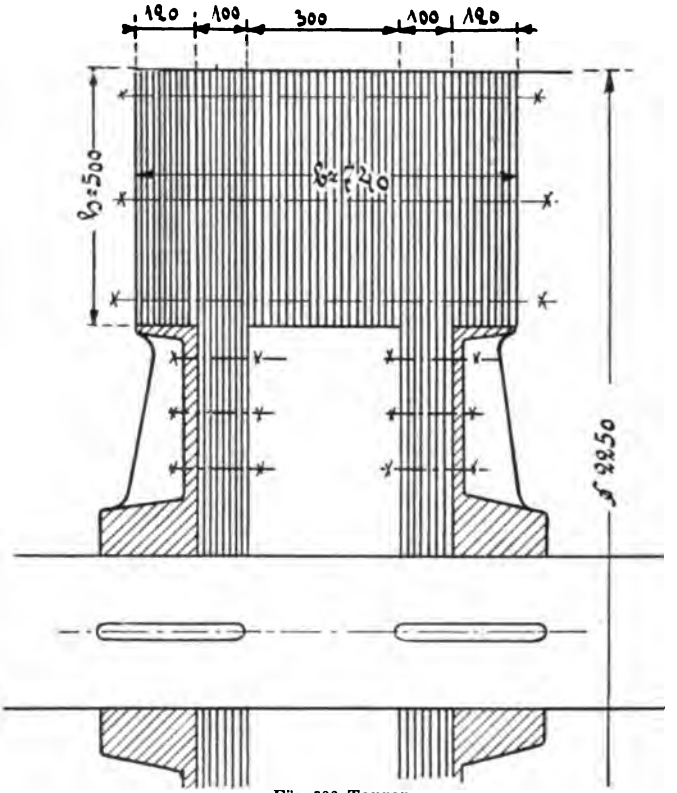
Erfolgt der Antrieb durch einen Drehstrommotor (Fig. 564), so ist es zunächst möglich, die Schwungmassen dadurch zum Ansprechen zu bringen, daß man dem Motor großen Rotorwiderstand und damit große Schlüpfung gibt (Kurzschlußanker mit 10 bis 20 % maximaler Schlüpfung). Ilgner verstärkt jedoch die Wirkung dadurch, daß er durch einen Fliehkraftregler C (Fig. 564) mit zunehmender Belastung, d. h. sinkender Tourenzahl, noch Rotorwiderstand R vorschalten läßt[1]). Das geht natürlich im Gegensatz zu einer Gleichstromanordnung auf Kosten des Wirkungsgrades; trotzdem ist die dadurch erzielte gleichmäßige Netz-

[1]) Lahmeyer-Frankfurt schließen zu gleichem Zwecke den Drehstrommotor auf die Wicklung eines Drehstromtransformators, der außerdem durch einen von der Belastung abhängenden Gleichstrom erregt wird (Oesterr. P. 19399).

Digitized by Google

belastung praktisch von größtem Werte. Auch auf dem Gebiete der Puffermaschinen dürfte der ein- und mehrphasige Kommutatormotor, dessen Tourenzahl ohne Widerstände geregelt werden kann, den Induktionsmotor noch verdrängen (Regelung durch Potentialregler oder Bürstenverstellung). In D. R.-P. 157369 ist eine dreiphasige Puffermaschine mit einem Kommutator versehen, der z. B. durch einen Serientransformator vom Netz erregt wird.

Die Schwungräder der Puffermaschinen bestehen entweder aus gutem Stahlguß[1]) oder sie werden aus ausgestanzten Blechen aufgebaut (Fig. 565),



Für 600 Touren.

Fig. 565. Union E.-G.

auf sorgfältiges Ausbalancieren ist besonders zu achten. Die Umfangsgeschwindigkeit außen beträgt 60 bis 100 m/Sek., eine Teilung ist zu vermeiden.

Außer den Puffermaschinen, die sich mehr zur Aufnahme rasch verlaufender Stromstöße eignen, dienen zum Belastungsausgleich

Akkumulatorenbatterien (speziell Pufferbatterien),

[1]) Oder gepreßtem Schmiedestahl.

Digitized by Google

die im wesentlichen nur in Gleichstromnetzen angängig sind, obwohl neuerdings vielfach in Drehstromnetzen rotierende Umformer mit parallelgeschalteten Pufferbatterien vorgeschlagen werden. Die Gleichstromspannung muß dabei mit der Netzspannung stark sinken, um die Batterie zum Ansprechen zu bringen (Fig. 566)[1]), was durch besondere Erregerumformer oder durch selbsttätige Erregerwiderstände zu erzielen ist.

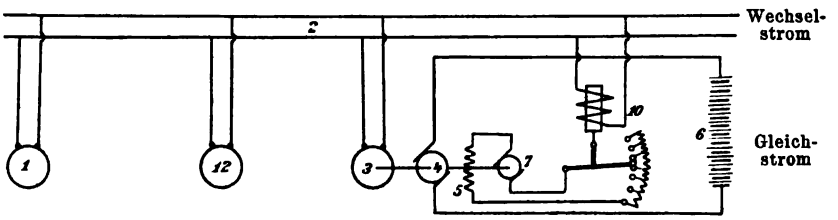


Fig. 566.

Pufferbatterien puffern umso besser, je größer die Spannungsvariation an den Sammelschienen und je geringer ihr innerer Widerstand ist.

Schließlich eignen sich als Kraftspeicher

Druckluftreservoirs und hochgelegene Wasserbehälter:

Die überschüssige elektrische Energie wird zu Zeiten schwachen Energiebedarfes im Netz Kompressoren oder Pumpen zugeführt, welche Druckluft oder Druckwasser erzeugen. Zu Zeiten des großen Energiebedarfs treibt dann umgekehrt die Druckluft oder das Druckwasser die Motoren als Dynamos an und unterstützt die übrigen Kraftmaschinen.

47. Vergleich der verschiedenen Methoden zum Anlassen und Tourenregeln bezüglich Wirtschaftlichkeit und Anschaffungspreis.

Bei diesem Vergleich sollen hauptsächlich Verhältnisse in Betracht gezogen werden, wobei häufiges Anlassen und Tourenregeln stattfindet, wie bei Bahnen, Hebezeugen etc. Von vornherein seien zwei prinzipielle Anlaßprozesse in Fig. 567 u. 568 einander gegenübergestellt: Fig. 567 zeigt die Anlaßperiode für einen Nebenschluß- oder Drehstrommotor (Motortype für konstante Tourenzahl), Fig. 568 für einen Gleich- oder Wechselstromserienmotor (Motortype, deren Tourenzahl mit steigender Last sinkt und umgekehrt). Nach dem Abschalten der Widerstände hört bei der ersten Motortype die Beschleunigung auf und der Strom sinkt

[1]) Oesterr. P. 18151, siehe auch Oesterr. P. 17101. In Fig. 566 ist 2 das Wechselstromnetz, das dreiphasig zu denken ist; 3—4 ist der Motorgenerator, dessen Gleichstromseite 4 fremd erregt wird (durch 7). Mit sinkender Spannung an 2 wird durch die Spule 10 der Widerstand im Erregerkreis vergrößert, so daß die Batterie sich entlädt, und umgekehrt.

Digitized by Google

I. Anlaßverhältnisse

für größere Motoren (100 PS und mehr) und große Beschleunigung.

Anlaßmethode	Wirkungsgrad der Anlaßperiode = zugeführte / nutzbar aufgenommene Energie %	cos φ beim Anlassen	Verluste im Motor selbst relativ	Preis des Motors relativ	Preis des Umkehranlassers total in gleichen Einheiten wie der Motor
a) Anker- oder Rotorwiderstand:					
α) Gleichstrom ohne Auslaufen } auf der	40—45	—	1,2	} 1,0	} 0,5
mit Auslaufen } Charakteristik	65	—	1		
β) Drehstrom (gewöhnlich)	40—45	0,9 durchweg	1,5	0,9	0,6
Dreieck-Sternschaltung	35—42	anfangs 0,8, zuletzt 0,9	1,3	1,1	0,7
γ) Wechselstrom-Kommutatormotoren					
ohne Auslaufen	35—40	} 0,8—0,95 durchweg	1,6—2,0	} 1,2	} 0,5
„ „ mit Auslaufen	60		1,5—1,8		
b) Serienparallelschaltung:					
α) Gleichstrom					
2 Serienmotoren oder 1 Doppelkommutator-					
motor mit Auslaufen	75	—	} 1	1,2—1,3	0,6
4 Kommutatoren mit Auslaufen	78—80	—		1,2—1,5	0,65

Digitized by Google

Anlaßmethode	Wirkungsgrad der Anlaßperiode = zugeführte / nutzbar aufgenommene Energie %	cos φ beim Anlassen	Verluste im Motor selbst relativ	Preis des Motors relativ	Preis des Umkehranlassers total in gleichen Einheiten wie der Motor
β) Einphasenstrom					
2 Kommutatoren } mit Auslaufen . . .	70	} 0,8—0,95	} 1,5—1,8	1,3—1,4	0,6
4 Kommutatoren }	73—75			1,4—1,6	0,65
γ) Drehstrom-Kaskadenschaltung	52—62	} anfangs 0,5—0,7	2,0	1,5—1,8	0,8—0,9
c) Polumschaltung (Drehstrom)	55—65	} zuletzt 0,85—0,95	1,5	1,3—1,5	0,75—0,85
d) Variable Motorspannung:					
α) Gleichstrom					
Anlaßdynamo	70—80 inkl. Anlaßdynamo	—	1,2	1,0	0,8—1,2
β) Einphasenstrom					
Anlaßtransformator	70—80 inkl. Transformator	erst 0,1—0,3 zuletzt 0,8—0,95	1,5—1,8	1,2	0,5—0,8
γ) Drehstrom-Anlaßkompensator [1])	50—60 inkl. Kompensator	erst 0,1—0,2 zuletzt 0,9	2,0	0,8	0,6
Drehstrom-Gleichstrom-Anlaßdynamo . . .	50—70 inkl. Umformer	durchweg 0,9	1,2	1,0	1,0—1,2
e) Kombination von Anker- und Nebenschlußwiderstand bei Nebenschlußmotoren [2]) . . .	60—70	—	1	1,2	0,4

[1]) Nur bei geringem Anzugsmoment möglich.

[2]) Bis zur halben Tourenzahl wird der Ankervorschaltwiderstand benützt, dann wird der Nebenschlußstrom geschwächt.

Digitized by Google

II. Tourenregelung

(größere Motoren vorausgesetzt).

Anlasser und Regler sind in der Regel kombiniert, obwohl sie getrennt angegeben sind.

Methode	Wirkungsgrad bei Tourenzahl $^1/_1$ %	Wirkungsgrad bei Tourenzahl $^1/_2$ %	$\cos\varphi$ bei Tourenzahl $^1/_1$ %	$\cos\varphi$ bei Tourenzahl $^1/_2$ %	Motorpreis relativ	Preis des Reglers (ohne Anlasser) relativ zum Motorpreis	Außerdem einfacher Anlasser Preis relativ	Uebliche Tourengrenzen
Gleichstrom:								
Ankervorschaltwiderstand	90 bei a PS	43 bei $\frac{a}{2}$ PS	—	—	1,0	0,3	0,1	$1:\frac{1}{2}$
Nebenschlußregelung	90 bei a PS	90 bei a bis 1,5 a PS	—	—	1,2 bei Regelung 1:2; bei 1:4 ca 1,5	0,05	0,2	1:1,2—1:4
2 oder 4 Kommutatoren (2 oder 4 Motoren)	90 bei a PS	85 bei $\frac{a}{2}$ PS	—	—	1,2—1,5	0,05—0,15 (nur Umschalter)	0,2	1:2—1:4
Mehrleiternetz	90 bei a PS	85 bei $\frac{a}{2}$ PS	—	—	1,0	0,05—0,15 (nur Umschalter) + Spannungsteiler u. Mehrkosten des Netzes	0,2	1:2—1:10
	Verlust im Spannungsteiler auch zu berücksichtigen							
Regulierdynamo (variable Ankerspannung)	90 bei a PS	85 bei $\frac{a}{2}$ PS	—	—	1,0	0,8—1,0	—	Beliebig von 0 aufwärts
Variabler Luftspalt	85 bei a PS	90 bei a PS	—	—	1,2	0 oder 0,02 für kleinen Nebenschlußregler	0,2	1:2—1:5
Drehstrom:								
Rotorwiderstand	90 bei a PS	43 bei $\frac{a}{2}$ PS	90	90	0,9	0,4	0,15	$1:\frac{1}{2}$

Digitized by Google

Primärer Kompensator (Transformator) und Kurzschlußanker	85 bei a PS	65 bei $\frac{a}{2}$ PS	90	82	0,8	0,4	—	1—0,7
Kaskadenschaltung	90 bei a PS	80 bei $\frac{a}{2}$ PS	90	75	1,5—1,8	0,1—0,2 (nur Umschalter)	0,3—0,4	1 : 2
Polumschaltung oder Stufenmotor	90 bei a PS	85 bei $\frac{a}{2}$ PS	90	80	1,3—1,5	0,05—0,15 (nur Umschalter)	0,2—0,3	1 : 2 bis 1 : 4
Variable Frequenz	90 bei a PS	89 bei $\frac{a}{2}$ PS	90	90	0,9	0,05—0,15 (+ Frequenzwandler + Mehrkosten des Netzes)	0,2—0,3	1 : 2
Drehstrom-Gleichstrom-Umformung u. Regulierdynamo (variable Gleichspannung) .	90 bei a PS	85 bei $\frac{a}{2}$ PS	—	—	1,0	1,0—1,5	—	Beliebig von 0 aufwärts
Kommutatormotor mit sekundärem Transformator . .	85 bei a PS	80 bei $\frac{a}{2}$ PS	95	95	1,2	0,5—0,8	—	Beliebig
2 Motoren mit u und $\frac{u}{2}$ Touren.	90 bei a PS	88 bei $\frac{a}{2}$ PS	90	90	1,3	0,1—0,2 (Umschalter und Kupplung)	0,2—0,3	1 : 2
Einphasenstrom:								
Ankerwiderstand.	85 bei a PS	40 bei $\frac{a}{2}$ PS	85	95	1,2	0,3	0,1	—
Serienparallelschaltung . .	85 bei a PS	80 bei $\frac{a}{2}$ PS	85	95	1,3—1,6	0,05—0,15	0,2	1 : 2
Reguliertransformator . . .	83 bei a PS	78 bei $\frac{a}{2}$ PS	85	95	1,2	0,3—0,6	—	1 : 2 bis 1 : 4

Digitized by Google

sofort von o a auf die zur Ueberwindung des Arbeitswiderstandes erforderliche Größe d e; beim Serienmotor Fig. 568 läuft der Strom jedoch auf der Motorcharakteristik aus und die Geschwindigkeit e f steigt weiter, allerdings bei stetiger Abnahme der Beschleunigung bis auf Null (Punkt f), wo dann der Strom unterbrochen wird. Es wird hier also ein großer Teil der Beschleunigung ohne Verluste in Widerständen ausgeführt. In

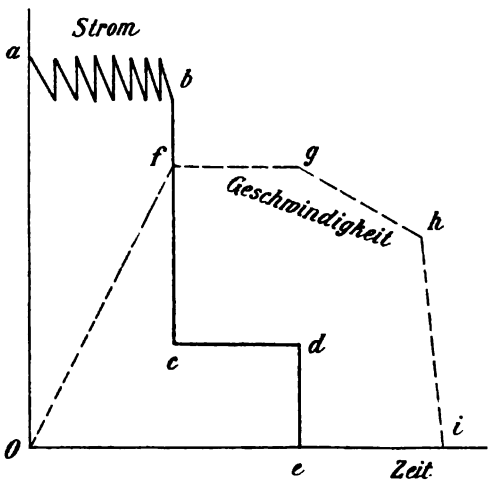


Fig. 567.

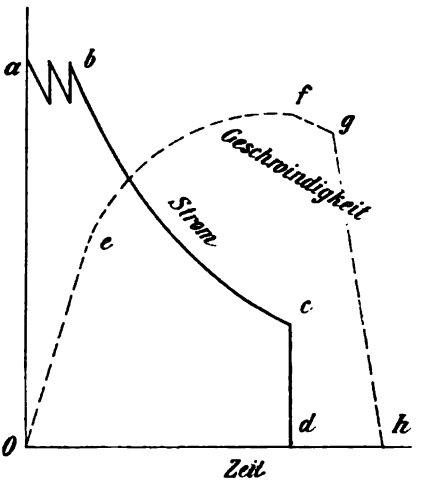


Fig. 568.

Fig. 567 bedeutet o f die Beschleunigungsperiode, f g freier Lauf mit konstanter Geschwindigkeit, g h das Auslaufen ohne Strom und Bremse (coasting), h i die Bremsperiode; in Fig. 568 ist o e f die Beschleunigungsperiode und zwar o e unter Benützung der Widerstände, e f auf der Motorcharakteristik, f g = Auslaufen ohne Strom und Bremse, g h = Bremsperiode.

Die Spalte Verluste im Motor in Tabelle I gibt ein Maß für die Erwärmung des Motors bei häufigem Anlassen.

Digitized by Google

X. Verschiedene Apparate.

48. Elektrische Bremsen[1]).

a) Motor als Dynamo.

Jeder Elektromotor kann bei geeigneter Tourenzahl, Klemmenspannung, Erregung und Kraftzufuhr als Generator arbeiten. Die erzeugte elektrische Energie kann

a) ins Netz zurückgeliefert,

b) in Widerständen vernichtet werden.

Die Abstufung der Widerstände für den Fall b erfolgt in genau derselben Weise wie bei den Anlassern S. 348. Ist z. B. E_1 die Klemmenspannung eines Gleichstrommotors (eventuell auch eines Wechselstromkommutatormotors) oder die eines selbsterregenden Drehstrommotors (mit Kommutator) zu Anfang der Bremsung, so ist der größte Bremswiderstand (bei Drehstrom pro Phase):

$$w_1 = \frac{E_1}{J_{max}},$$

sofern J_{max} der größtzulässige Bremsstrom ist. J_{max} hängt von der Motorkonstruktion ab, da zu große Stromwerte einmal zu zerstörender Funkenbildung und zu übermäßigen mechanischen Beanspruchungen führen; dann bedingt die Bremsung einen Stoß, dessen Heftigkeit mit J_{max} steigt. Bei der Bremsung wird J_{max} mit abnehmender Tourenzahl auf J_{min} sinken, dann schaltet man einen Teil des Bremswiderstandes derart ab, daß der übrig bleibende Teil w_2 wieder J_{max} zuläßt. Man wählt $\frac{J_{max}}{J_{min}} = \lambda = 1{,}5$ bis 3, w_1 gemäß J_{max}, E_1 ist meist gleich der Netzspannung, der letzte Widerstand ist w_a, so daß Gl. (68), S. 348, wieder die Stufenzahl gibt.

[1]) Siehe auch Band I, S. 280.

Digitized by Google

a) Der Gleichstromnebenschlußmotor kann sowohl in einfachster Weise als Dynamo auf Widerstand gebremst werden, als auch innerhalb weiter Tourengrenzen ins Netz zurückarbeiten. Er ist unstreitig der zum elektrischen Bremsen geeignetste Motor. Beim Bremsen auf Widerstand kann er in zuverlässiger Weise vom Netz erregt werden, so daß ein Nichtangehen ausgeschlossen ist; auch braucht an der Schaltung gar nichts geändert zu werden; zudem ist der erste Bremsstoß weniger heftig als beim Serienmotor. Bei Eigenerregung sind allerdings große Spannungssteigerungen möglich, die die Erregerwicklung durchschlagen können. Arbeitet der Nebenschlussmotor ins Netz, so hat man seine Erregung mit abnehmender Tourenzahl stetig so zu verstärken, daß seine Klemmenspannung stets die Netzspannung E_k überwiegt. Ist E die E.M.K. des Motors und w der gesamte Motorwiderstand (Anker + Bürsten) inklusive einem Zuschlag für die Rückwirkung, so ist der Rückstrom J ins Netz

$$J = \frac{E - E_k}{w}.$$

Die Rückgewinnung wird besonders beträchtlich, wenn es sich um Bahnmotoren auf Bergbahnen handelt, oder aber beim gewöhnlichen Auslaufen dann, wenn man mehrere Motoren zunächst in Parallel- und dann in Serienschaltung verwendet (Fig. 552) bei gleichzeitiger Feldregelung. Der Gleichstromnebenschlußmotor hat überdies den Vorteil, daß er die Bremsenergie in Akkumulatoren zurückliefern kann in Fällen, wo die Netzbelastung nicht zur Aufnahme dieser Energie genügt. Der Nebenschlußmotor hat außerdem die Eigenschaft, daß er eine Rückgewinnung bei konstanter Tourenzahl selbst bei variabler Bremsenergie ermöglicht. Kennt man die zugeführte mechanische Bremsenergie, so hat man zur Ermittlung der nützlich gewonnenen Energie alle Verluste in Abzug zu bringen; es bleiben meist nicht mehr als 50 bis 70 % übrig.

b) Der Gleichstromserienmotor läßt sich, auf Widerstand geschaltet, als energische Bremse verwenden, man hat aber für diesen Fall die Anschlüsse von Feld und Anker zu vertauschen; außerdem ist nur Eigenerregung möglich, falls man nicht das Feld über sehr große und teuere Widerstände ans Netz legen will. Stromrückgewinnung ins Netz ist ausgeschlossen, außer wenn man für diesen Fall separate Erregung vom Netz, die aber selbst alle Bremsenergie in Widerständen aufzehren würde, oder eine separate Erregerdynamo[1]) von $^1/_{10}$ bis $^1/_{20}$ der Motorleistung und $^1/_{10}$ bis $^1/_{20}$ der Netzspannung vorsieht, was sehr kompliziert ist.

c) Der gewöhnliche Drehstrominduktionsmotor eignet sich nicht zum Bremsen auf Widerstand unabhängig vom Netz, dagegen bei Antriebstourenzahlen über Synchronismus zur Stromrückgewinnung ins Netz.

[1]) Oder eine Batterie.

Digitized by Google

Er läuft dann als asynchroner Generator, der einen von der Belastung abhängigen cos φ besitzt, d. h. er liefert nur Wattströme, die wattlose Komponente hat das Netz zu liefern. Verwendet man Kaskadenschaltung oder Polumschaltung der Drehstrommotoren, so kann man von Uebersynchronismus bis zur Hälfte des Synchronismus zurückarbeiten, in dem Intervall von 80 bis 100 % des Synchronismusses allerdings in der Regel nicht. Die Rückgewinnung ist jedoch keineswegs so einfach und vollkommen wie beim Gleichstromnebenschlußmotor. Eine weitgehende Bremsung auf Widerstand und ins Netz wird möglich, wenn man den Asynchronmotor mit einer Gleichstromerregermaschine versieht und ihn damit fürs Bremsen in einen gewöhnlichen Synchrongenerator verwandelt. Das gleiche erreicht man auch dadurch, daß man den Rotor außer mit drei Schleifringen mit einem Kommutator versieht, wodurch man einen selbsterregenden Drehstromgenerator erzielt. Schließlich kann man auch den Rotor durch die Bremsenergie entgegen dem Drehsinn des primären Drehfeldes antreiben, so daß bei voller Tourenzahl die Schlüpfung 2n ist, sofern n die (primäre) Netzperiodenzahl ist, d. h. man schaltet primär auf Vorwärtslauf, treibt aber den Rotor rückwärts an. Durch Rotorwiderstände kann man dann beliebig bremsen, in diesem Falle muß aber das Netz das Doppelte der Bremsenergie liefern. Bei allen Dauerbremsungen auf Widerstände werden diese lästig groß, so daß das Zurückarbeiten des Nebenschlußmotors auf eine Batterie in vielen Fällen ein ausschlaggebender Vorteil wird.

d) Die verschiedenen Wechselstromkommutatormotoren gestatten ebenfalls eine Bremsung auf Widerstände oder ins Netz, ihre Wirkungsweise gleicht im wesentlichen derjenigen der Gleichstrommotoren, obwohl durch die bequeme Aenderung der Spannung durch Transformatoren eine größere Flexibilität vorhanden ist und dadurch z. B. leicht dem Serienmotor der Charakter eines Nebenschlußmotors für das Bremsen zu verleihen ist. Der Repulsionsmotor kann durch Bürstenverstellung in beliebiger Weise als Bremse benützt werden.

Bei allen Bremsungen von Motoren als Dynamos auf Widerstände ist zum Schluß vor Stillstand noch anderweitig zu bremsen; man kann z. B. den elektrischen Kontroller mit einem Gestänge versehen, das auf der letzten (Kurzschluß-)Bremsstellung die mechanische Bremse anzieht.

In D. R.-P. 120320 ist eine Schaltung zum Anlassen und zum Bremsen kombiniert; die beiden konzentrischen Kontaktbahnen der Anlaß- und Bremswiderstände greifen ineinander über.

b) Bremsmagnete, Bremsmotoren und Kupplungen.

Die elektrischen Einrichtungen zum Lüften oder Anziehen von Klotz- oder Bandbremsen können folgende Ausführungsformen besitzen:

Digitized by Google

1. Hufeisenmagnete oder Kernmagnete:

Fig. 569 für Gleichstrom,
Fig. 570 „ Wechselstrom
Fig. 571 „ Drehstrom } geblätterte Kerne,

oder schließlich nach

Fig. 572 für Gleich- oder Wechselstrom.

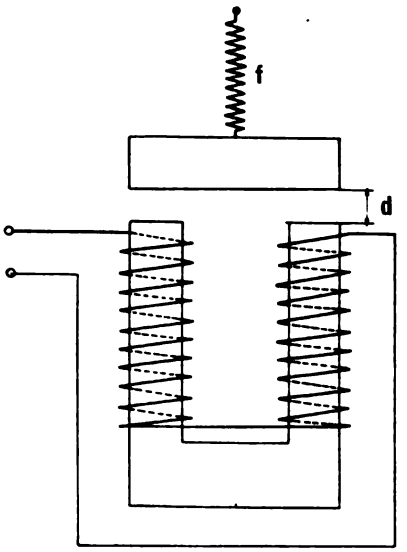


Fig. 569.

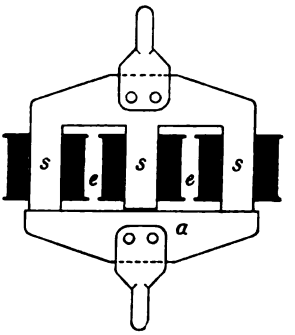


Fig. 571.

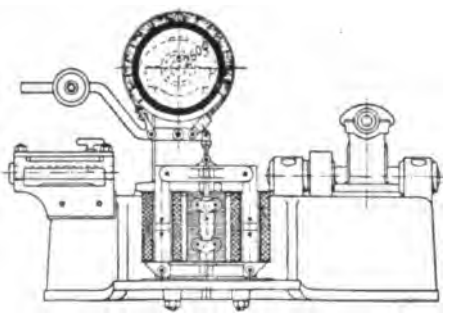


Fig. 570.

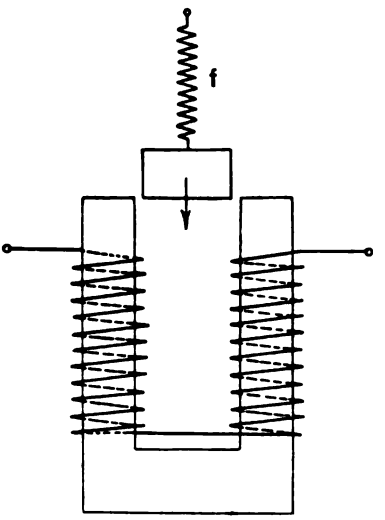


Fig. 572.

In Fig. 571 (D. R.-P. 146221 von S. & H.) ist der mittlere Schenkel kürzer als die äußeren, um das bei Wechselstrommagneten übliche Geräusch zu verringern [1]).

[1]) In D. R.-P. 154688 ist ein anderer geräuschloser Mehrphasenmagnet beschrieben, ferner in D. R.-P. 149580 ein Einphasenmagnet mit drei Schenkeln, wovon nur die beiden äußeren bewickelt sind.

Digitized by Google

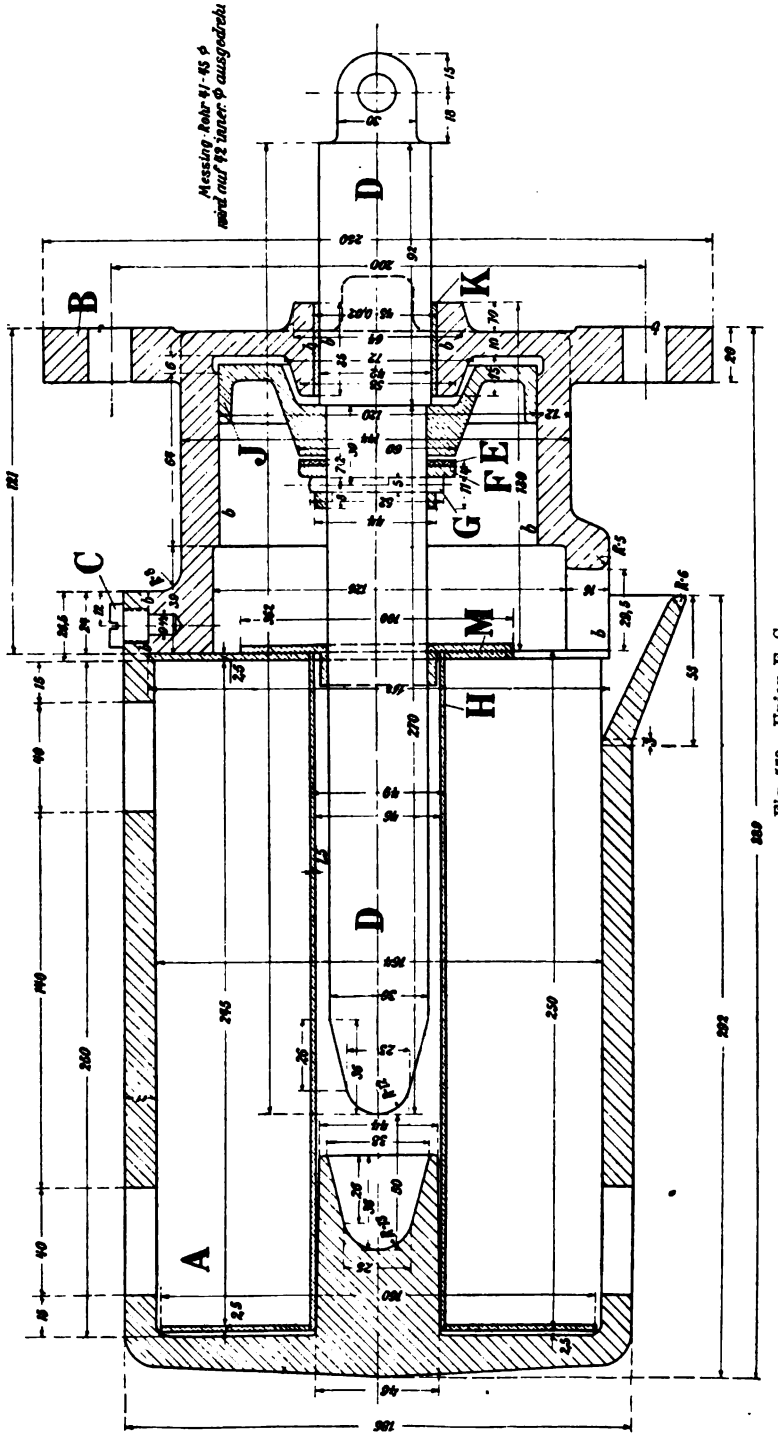


Fig. 573. Union E.-G.

Digitized by Google

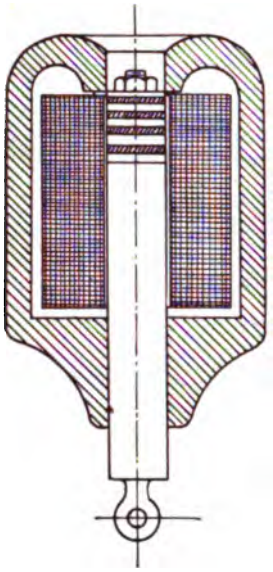


Fig. 574.

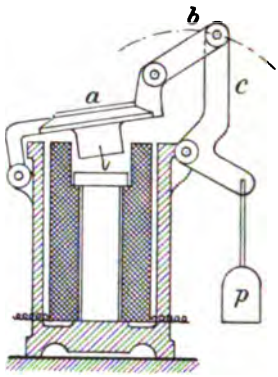


Fig. 575.

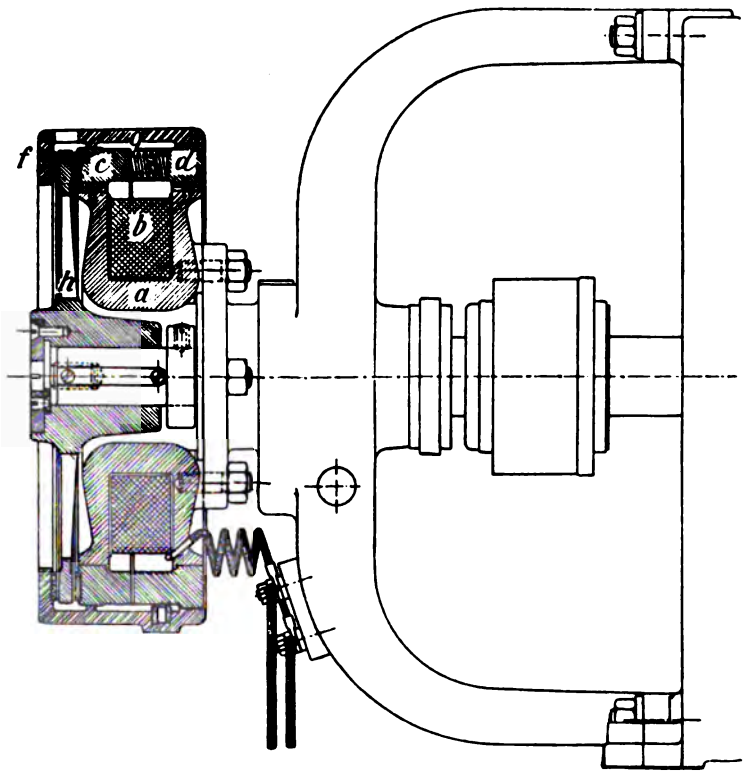


Fig. 576.

Digitized by Google

2. Topf- oder Mantelmagnete:

Fig. 573 der Union E.-G. für 20 kg und 50 mm und 500 Volt Gleichstrom:

Der oben konische Kern besteht aus Stahl, das Gehäuse aus Gußeisen. J ist der Kolben einer Luftdämpfung, wozu am Boden noch ein justierbares Auslaßventil gehört; E ist eine Lederscheibe.

In Fig. 574 ist kein eigentlicher Luftspalt vorhanden und der Hub wird selbsttätig in der oberen Endstellung des Kerns begrenzt, so daß keine Dämpfung notwendig. Um eine gleichmäßige Zugkraft zu erzielen, ist der obere Teil des Kerns abwechselnd aus Eisen und Messingscheiben aufgebaut (Guénée & Cie., Paris).

Die Zugkraft der Mantelmagnete steigt in der Regel mit abnehmendem Kernhube stark an, durch geeignete Formgebung des Kernendes und des Gegenstückes am Gehäuse kann man jedoch innerhalb weiter Grenzen praktisch konstante Zugkraft erzielen, ja, was für Lüftmagnete angezeigt ist, sogar mit abnehmendem Hub auch abnehmende Zugkraft. Mechanisch kann man die Zugkraftskurve auch durch eine variable Uebersetzung nach Fig. 575 korrigieren (D. R.-P. 116993 von Schuckert), was aber etwas kompliziert erscheint.

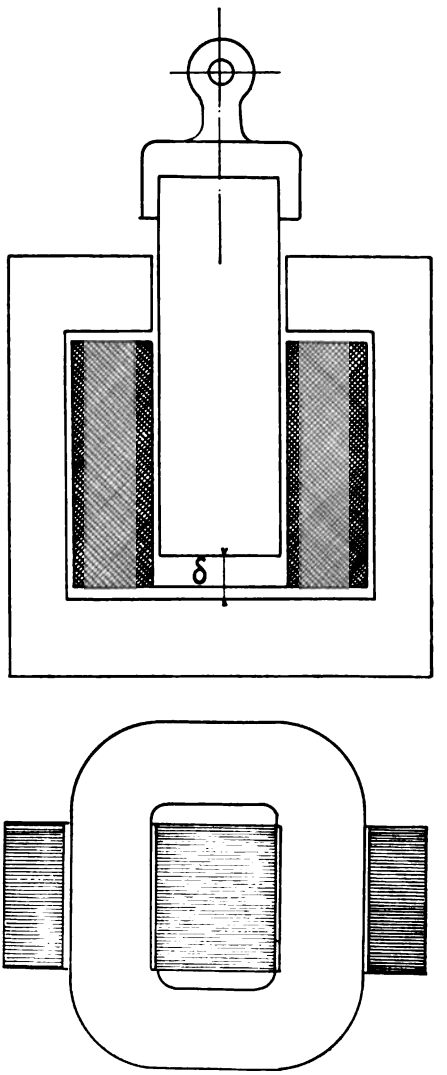


Fig. 577.

Auch der Ringmagnet Fig. 576 von Schuckert, der direkt auf der Motorachse sitzt, kann zu den Mantelmagneten gerechnet werden; er wird verwendet, wenn für den direkten Anbau der gewöhnliche Bremsmagnet zu groß ist. Die Scheibe h sitzt drehbar auf der Motorachse und wird beiderseits von den mit Leder belegten, feststehenden Ringen c und f vermittels

Digitized by Google

der Federn g festgepreßt, bis der Motorstrom die Spule b erregt und c und f von h abdrückt.

Für Wechselstrom kann der Mantelmagnet prinzipiell die Form Fig. 577 annehmen.

3. Solenoide für Gleich- und Wechselstrom, im letzten Fall mit geblättertem Weicheisenkern. Fällt die Kernmitte mit der Spulenmitte zusammen, so hört die Kraftwirkung von selbst auf, siehe S. 326.

Durch geeignete Formgebung (Absätze) des Kerns und der Spule läßt sich mit Hilfe des Solenoids auf den längsten Hub eine annähernd konstante Zugkraft erzielen, aber sie ist an sich schwächer als bei den Kern- und Mantelmagneten. Zur Ausübung großer Zugkräfte innerhalb kurzer Wege ist der Kernmagnet am günstigsten, namentlich auch bezüglich des Energiebedarfs. Für sehr großen Hub unterteile man die Solenoidwicklung in einzelne Spulen, die nacheinander eingeschaltet werden.

4. Apparate auf Grund der Abstoßung durch Thomsoneffekte oder anderseits auf dem Prinzip der Faradayschen Scheibe (unipolare Induktion), beide Formen selten ausgeführt, siehe Fig. 308.

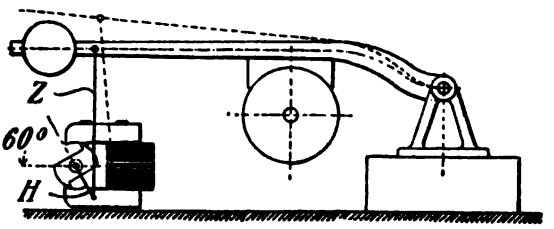


Fig. 578.

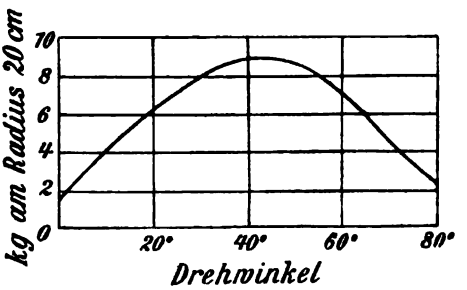


Fig. 578a.

5. Drehmagnete mit Erregung nur auf dem feststehenden Teile (Fig. 578 von Siemens & Halske). Die Konstruktion ist einfacher als bei 6., allerdings ist auch die Zugkraft entsprechend kleiner.

6. Drehmagnete je mit einer Wicklung auf dem festen und beweglichen Teil. Ist die Drehung weniger als 180°, so können beide Wicklungen einfach einachsig sein, sonst sind die bekannten Konstruktionen

Digitized by Google

von Gleich- oder Drehstrommotoren anzuwenden. Die Uebertragung auf die Bremse kann ohne Uebersetzung durch eine Kurbel (Fig. 579 von Fischer-Hinnen) erfolgen oder aber durch eine ein-

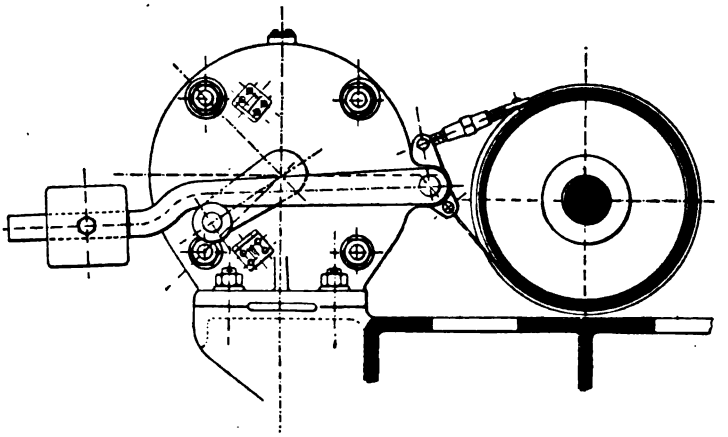


Fig. 579.

fache oder mehrfache Zahnradübersetzung (Fig. 580 von Schuckert nach D. R.-P. 138035 und Fig. 581 von der Union E.-G. für 25 kg und 100 mm) oder schließlich durch einen Zahnstangen- oder Schnecken-

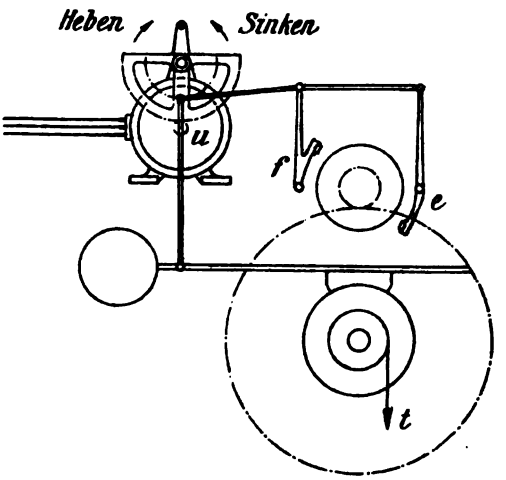


Fig. 580.

antrieb[1]) (Fig. 582). In Fig. 580 hebt der Lüftmagnet gleichzeitig die Kommutatorbürsten des mit Gleichstrombremsung ausgerüsteten Induk-

[1]) Die Firma Kolben & Co. benützt eine einfache Zahnradübersetzung, welche eine Gallsche Kette aufwindet.

Digitized by Google

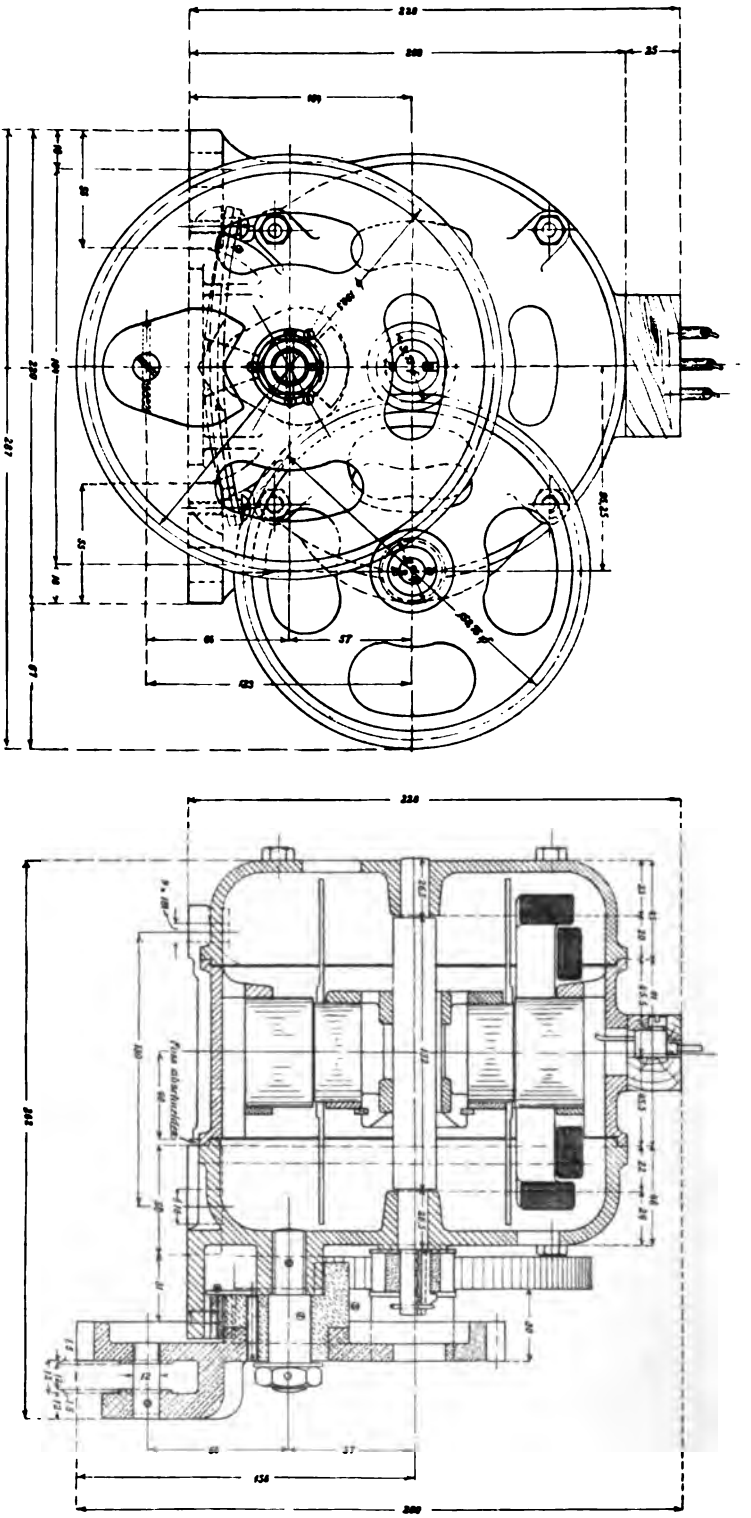


Fig. 181.

Digitized by Google

tionsmotors ab (S. 431). Die Motoren sind praktisch meist $^1/_8$- bis 1pferdig, können aber auch wesentlich größer werden. Man lege sie für möglichst geringe Tourenzahl aus, d. h. bei Drehstrom mit 8 bis 20 Polen für 50 Perioden. Der Rotor von Drehstrombremsmotoren kann bei aussetzendem Betrieb ein massiver Gußklotz sein oder ein Kurzschlußanker, dessen Leiter aus Aluminium einfach in die Nuten eingegossen sind. Jedenfalls müssen die Kurzschlußringe so hohen Widerstand

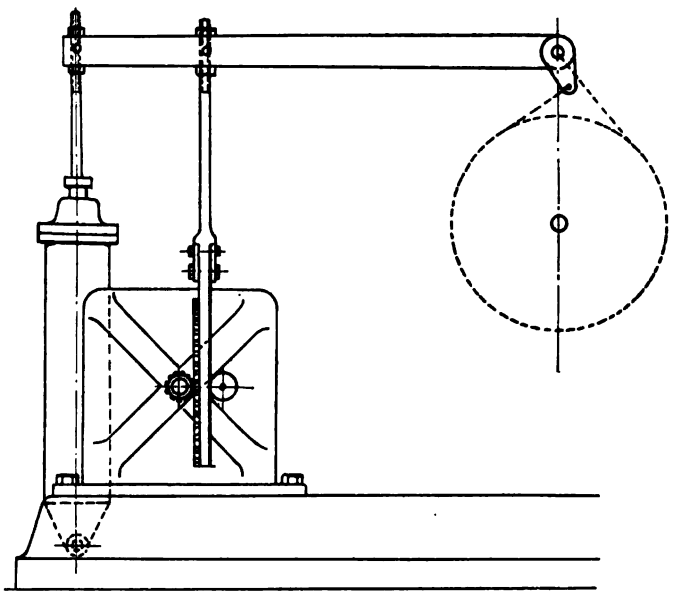


Fig. 582.

haben, daß das maximale Drehmoment erzielt wird. Bei Dauereinschaltung werden solche Bremsmotoren leicht zu heiß und man hat dann den Rotor mit drei Schleifringen zu versehen und einen besonderen, reichlichen Rotorwiderstand vorzuschalten. Bei Gleichstrom, wofür Seriemotoren sich eignen, ist dieser Vorschaltwiderstand wohl allgemein erforderlich.

Das Drehmoment dieser Bremsmotoren ist bei Gleichstrom (siehe Bd. I, S. 265)

$$M = \frac{p}{61{,}6\,a} Z K (J - J_v) \cdot 10^{-8} \text{ in mkg.}$$

$2p$ = Polzahl, $2a$ = Zahl paralleler Zweige, Z = totale Ankerleiterzahl, K = Flux im Anker, J = Ankerstrom,

$$J_v = \frac{\text{gesamte Verluste} - \text{Ohmsche Verluste}}{\text{Klemmenspannung}}.$$

Digitized by Google

Bei Drehstrom wird (Bd. II)

$$M = c \cdot p Z_2 K_2 J_2 \cdot 10^{-10} \text{ in mkg},$$

falls Z_2, K_2, J_2 totale Leiterzahl, Flux und effektiver Strom im Rotor sind.

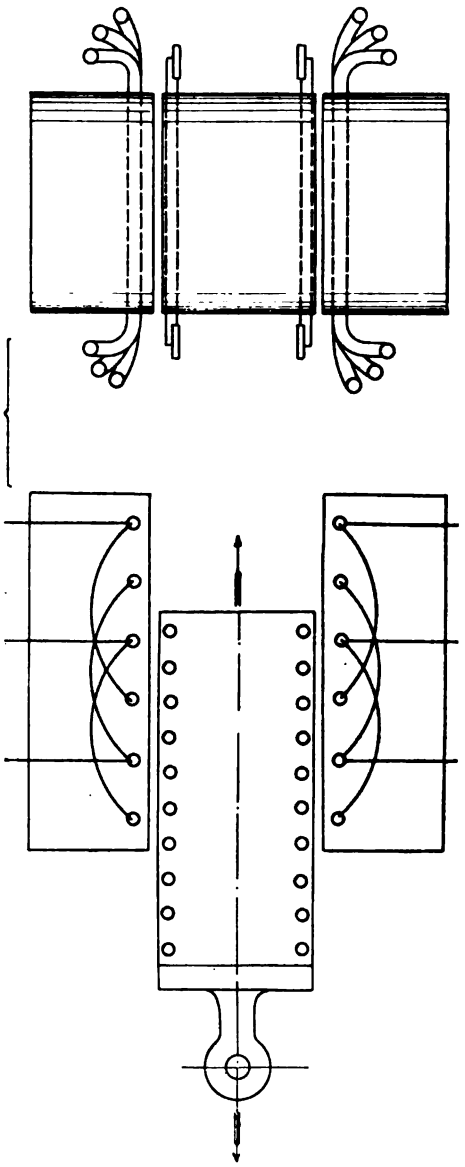


Fig. 583.

c hängt von der Wicklung ab und ist 3,6 (Käfiganker) bis 2,3 (nicht aufgeschnittene Gleichstromwicklung). Kennt man die maximale Leistung des betreffenden Motors in PS und die zugehörige Tourenzahl u, so ist auch

$$M = 716 \frac{PS}{u} \text{ in mkg}.$$

Im übrigen muß auf die Berechnung der Motoren in Bd. I und II verwiesen werden mit dem Bemerken, daß die Abkühlung der Bremsmotoren wesentlich schlechter ist als bei Motoren, die mit voller Tourenzahl laufen.

7. Drehstrombremsmagnete mit verteilter Wicklung und geradliniger Bewegung: Man denke sich den Stator (Fig. 583) eines Drehstrommotors in eine Ebene ausgebreitet, und es stehe ihm ein ausgebreiteter Rotor gegenüber, so wird eine der Drehbewegung des Drehstrommotors entsprechende Bewegung eintreten, die beim Radius ∞ geradlinig wird.

8. Bremsung durch den seitlichen Zug von Motorankern: Der Anker des Motors, der mit einer Lüftungsbremse versehen ist, wird unsymmetrisch zum Feld montiert, d. h. Feld- und Ankermitte fallen nicht zusammen und eine Feder soll den Anker bei unerregtem Feld achsial aus dem Feldkörper herausschieben. Erregt man das Feld, so wird der Anker eingezogen und die betreffende Bewegung kann zum Lösen oder Betätigen der Bremse benützt werden.

Digitized by Google

Die Berechnung der Kern- und Mantelmagnete 1 und 2 ist bereits auf S. 234 gegeben; die üblichen Bremsmagnete haben Zugkräfte von 20 bis 400 kg und 20 bis 100 mm Hub. Die Induktion im Stahl- oder Schmiedeisenkern ist 5000 bis 8000 bei maximalem Luftspalt, im Gußeisen 2000 bis 4000. Der Streukoeffizient ist bei größtem Hub 1,2 bis 1,5, er hängt von dem Verhältnis Hubhöhe : Spulentiefe ab; es ist indes zu beachten, daß die Streulinien zum großen Teil nützliche sind, welche die Zugkraft erhöhen. Die Stromdichte vorübergehend benützter Bremsmagnete kann 3 bis 4,5 Amp./qmm und die ausstrahlende Oberfläche 1 qdm pro 20 bis 30 Watt sein; die üblichen Magnete haben 10000 bis 50000 AW[1]). Die Abkühlung der Bremsmagnete ist eine sehr langsame, Messungen ergaben z. B.:

Zeit, Minuten . . .	0	5	15	30	0	5	15	30	60	120
Uebertemperatur Grad	0	15	47	103	82	79	75	70	60	47
	Normalstrom dauernd eingeschaltet				Strom abgeschaltet					

Die günstigste Form der beweglichen Kerne am Luftspalte ist eine Kegelfläche mit einem Gesamtwinkel von 30 bis 60° an der Spitze[2]); das gibt für Mantel- und Kernmagnete den kleinsten Energiebedarf bei größter Zugkraft. Auch für Wechselstrom ist diese Abschrägung empfehlenswert. Bei Wechselstrommagneten ist bei großem Luftspalt der aufgenommene Erregerstrom zunächst sehr groß und fast ganz wattlos und sinkt bei abnehmendem Hub praktisch auf etwa $^1/_{20}$ des Anfangswertes bei etwas größerem $\cos\varphi$; zieht nun der Magnet nicht gleich an, so wird er entweder verbrennen oder eine Sicherung muß ihn abschalten. In dieser Hinsicht sind Bremsmotoren etwas günstiger, allerdings ist ihr Stromverbrauch dauernd wesentlich größer als bei den Bremsmagneten im angezogenen Zustand, aber ihr $\cos\varphi$ ist 0,85 bis 0,95. Um die Streuung von Wechselstrommagneten zu vermindern, kann man die Schenkel mit einer geschlitzten Kupferspule umgeben. Das Brummen der Wechselstrommagnete läßt sich durch solides Zusammenpressen aller Bleche und durch symmetrische Anordnung[3]) aller Teile herabmindern; übrigens zeigen auch die kleinen Bremsmotoren öfters diese unangenehme Eigenschaft. Bei der Konstruktion der Wechselstrombremsmagnete ist auch darauf zu achten, daß in den Wicklungen und den metallnen Konstruktionsteilen durch Wirbelströme keine unzulässigen Verluste entstehen.

[1]) Die Berechnung eines Bremsmagneten siehe Am. Mach. 1905, 11. März.

[2]) Z. B. 40° bei Stahl, 55° bei Gußeisen.

[3]) In D. R.-P. 130293 ist der E.-A.-G. vorm. Schuckert & Co. ein Dreiphasenmagnet geschützt, der aus sechs Schenkeln besteht, je zwei gegenüberliegende Schenkel werden von derselben Phase erregt; siehe ferner D. R.-P. 150944.

Digitized by Google

Bei Gleichstrom verwendet man entweder Serien- oder Nebenschlußmagnete, erstere werden in den Hauptstrom, letztere an die Klemmenspannung[1]) gelegt; für Drehstrom kommen nur Nebenschlußmagnete in Frage. Die Hauptstrommagnete müssen so gebaut sein, daß sie beim geringst vorkommenden Strom noch sicher anziehen. Von einzelnen Firmen werden zur Sicherheit des Anziehens bei geringem Strom Compoundmagnete mit Serien- und Nebenschlußwicklung gebaut. Die Serienwicklung kann unterteilt und im angezogenen Zustand des Magneten teilweise kurzgeschlossen werden; man reduziert damit die Verluste im Bremsmagneten. Dasselbe erreicht man bei Nebenschlußmagneten, wenn man nach erfolgtem Anziehen durch den Kern einen Schalter betätigen läßt, der Widerstand vor die Spule schaltet (Fig. 584 von Vogelsang, E.T.Z. 1901, S. 176). Hauptstrommagnete können für alle Motorleistungen die gleiche Spule, aber einen variablen Nebenschluß erhalten.

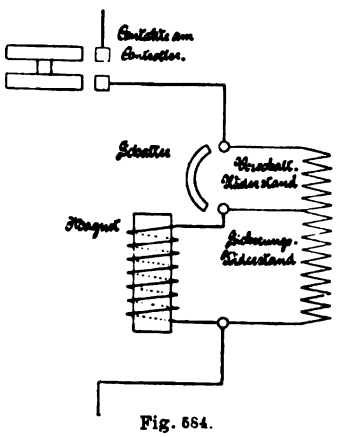


Fig. 584.

Die drei grundlegenden Beziehungen für einen an der Netzspannung liegenden Wechselstrommagneten sind nach S. 239 ff.:

a) für die Zugkraft

$$P = \left(\frac{B_{eff}}{5000}\right)^2 F = \left(\frac{B_{max}}{7100}\right)^2 F \text{ in kg}, \quad . \quad . \quad . \quad (84)$$

B_{eff} = quadratischer Mittelwert der Luftspaltinduktion, B_{max} = deren Maximalwert, F = Querschnittsfläche im Luftspalt und im Eisenkern in cm^2.

b) für die Klemmenspannung E_k

$$E_k^2 = E^2 + J^2 w^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (85)$$

und

$$E = 4{,}44\, n\, z\, B_{max}\, F\, .\, 10^{-8} = 0{,}9\, E_k \text{ bis } E_k, \text{ im Mittel} = 0{,}95\, E_k.$$

J w = Ohmscher Abfall durch den Strom J in dem Widerstand w, n = Netzperiodenzahl, z = Windungszahl der Erregerspulen, E = EMK.

c) für den Magnetisierungsstrom

$$J_\mu = 0{,}57\, \frac{B_{max}\, \delta}{z}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (86)$$

δ = gesamter Luftweg, die Eisenwiderstände sind vernachlässigt; der totale Strom J ist $= \sqrt{J_\mu^2 + J_v^2} = 1{,}05$ bis $1{,}2\, J_\mu$, wobei J_v zur Deckung der Eisenverluste dient.

[1]) Oder auch in den Erregerkreis von Nebenschlußmotoren.

Digitized by Google

Die Formel für die Zugkraft läßt sich auch schreiben

$$P = \frac{E^2}{n^2 z^2 F^2}\, 10^7 \text{ in kg}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (87)$$

oder angenähert

$$P = \backsim \frac{0{,}9\, E_k^2}{n^2 z^2 F^2}\, 10^7 \text{ in kg}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (88)$$

d. h. die Zugkraft P ist bei konstanter Klemmenspannung ganz unabhängig von der Luftdistanz etwa innerhalb 10 % konstant, d. h. wenn der Luftabstand von 30 mm auf 1 mm sinkt, so sinkt die Zugkraft nur um ca. 10 %, während der Magnetisierungsstrom J_μ und damit J auf etwa $^1/_{30}$ seines ursprünglichen Wertes fällt; auch die Eiseninduktionen ändern sich in den beiden Grenzstellungen kaum. Bei Gleichstrom kann die Zugkraft dagegen bei $\delta = 1$ mm theoretisch auf das 900fache des Wertes bei $\delta = 30$ mm steigen, wobei die Stromaufnahme gleich groß bleibt.

Auch die Formel für den Magnetisierungsstrom läßt sich etwas umformen

$$J_\mu = \backsim 0{,}9\, J = 2{,}5\, \frac{B_{max}^2 F}{E}\, n\delta \,.\, 10^{-8}, \quad . \quad . \quad . \quad (89)$$

oder auch

$$J_\mu = 1{,}3\, \frac{P}{E}\, n\delta = \backsim 1{,}4\, \frac{P}{E_k}\, n\delta, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (90)$$

d. h. J_μ steigt mit der erforderlichen Zugkraft P.

In Electrical World 1905, 13. Mai, ist eine Berechnungsmethode für Solenoide gegeben. Der Kern ist gesättigt vorausgesetzt, dann ist die Zugkraft $P = C \,.\, Jz$, falls J der erregende Gleichstrom und z die Windungszahl ist. Pro cm^2 Kernfläche verwende man 1600 AW oder mehr; den mittleren Spulendurchmesser D mache man $= 3\,d$ ($d =$ Kerndurchmesser). Ist der verlangte Hub (Weg des Kerns) s, so mache man die Spulenlänge $l = 2\,s$, dann bleibt auf die Länge $\frac{l}{2}$ die Zugkraft P innerhalb 10 % konstant, d. h. $P_{max} = 1{,}1\,P$, falls P die minimal verlangte Zugkraft ist. Nun kann man bei gesättigtem Kern schreiben

$$X = AW \,.\, q = 39\, \frac{1600\, P_{max} - a\,w_0\,(P_{max} - P_c)}{P_c}. \quad . \quad (91)$$

AW = totale Amperewindungen, q = Kernquerschnitt in c^2, $P_{max} = 1{,}1\,P$ ist gegeben und für P_c sowie $a\,w_0$ benützt man für $l = 2\,s$ die folgenden Zahlenwerte

$l =$	5	10	15	20	25	30	40	50 cm
$P_c =$	12,9	8,9	6,3	5,0	4,1	3,5	2,7	2,3 kg
$a\,w_0 =$	500	380	310	250	190	150	80	32.

Digitized by Google

P_c ist die maximale Zugkraft pro 1600 AW und 1 c^2 Kernquerschnitt und $a w_0$ ist eine Korrektion dafür, daß P_c und J_z nicht proportional sind. Schließlich ist

$$q = \frac{\sqrt{X}}{40} \text{ in } c^2 \quad \text{und} \quad AW = \frac{X}{q}. \quad . \quad . \quad . \quad (92)$$

Für alle Bremsmagnete und Bremsmotoren ist die Anordnung einer zuverlässigen Dämpfung in Form eines Luftkatarakts oder von Pufferfedern von größter Bedeutung (D. R.-P. 105907).

Wie sich die Zugkraft beim Anziehen und Abreißen für einen Gleichstrommantelmagneten verhält, zeigt folgende Tabelle (normal 50 kg 50 mm):

Belastung kg	10	45	65
Ampere zum Anziehen bei 50 mm Abstand . .	14	32,5	45
Reißt ab bei Ampere	0,3	1,9	7,6

Nicht ohne Interesse ist ein Vergleich des Betriebs des Drehmagneten Fig. 578 mit Gleich- oder Wechselstrom, falls sein Eisen geblättert ist:

Stellung Grad	Wechselstrom		Gleichstrom	
	Strom Ampere	Drehmoment mkg	Strom Ampere	Drehmoment kg
0 (horizontal)	31,5	0	18,5	0
15	31	1,8	„	0,9
30	29,3	6,2	„	3,0
45	24,1	12,8	„	9,8
60	17,7	8,8	„	11,9
75	13,6	3,3	„	5,3
90	12,8	0	„	0
	Konstante Klemmenspannung 30 Volt Maximum 13 mkg bei 22 Ampere und 50°		Maximum 13,6 mkg bei 55°	

Zum eigentlichen Bremsen ist der Elektromagnet oder Elektromotor kaum in ausgiebigem Maße verwendet worden, da sich dazu Druckluft und Druckflüssigkeiten besser eignen. In vielen Fällen werden jedoch die Druckluft- und Druckflüssigkeitsbremsen elektrisch gesteuert oder elektrisch ausgelöst. Die Dauerbremse der A. E.-G. ist z. B. so eingerichtet, daß wohl ein Bremsmagnet die Bremsbewegung ausführt, aber die Dauerbremsung besorgt nach Abschaltung des Stromes eine Druckflüssigkeit[1]). — Für rein elektrische Bremsen kann man zweckmäßig

[1]) Elektr. Bahnen 1904, Dez.

Digitized by Google

zwei Magnete verwenden, einen mit großem Hub und kleiner Zugkraft, der die Bremse zum Anliegen bringt, und einen zweiten mit großer Zugkraft und kleinem Hub, der die Bremse fest anzieht. Auch für das Lüften kann eine absatzweise Bewegung erwünscht sein.

Die Kern- oder besser die Mantelmagnete lassen sich ohne weiteres auch als Hebemagnete[1]) ausbilden, um Eisenstücke ohne Hilfe von Haken rasch zu transportieren. Um beliebig geformte Stücke heben zu können, besitzt der Hebemagnet Fig. 585 eine Reihe in der Längsrich-

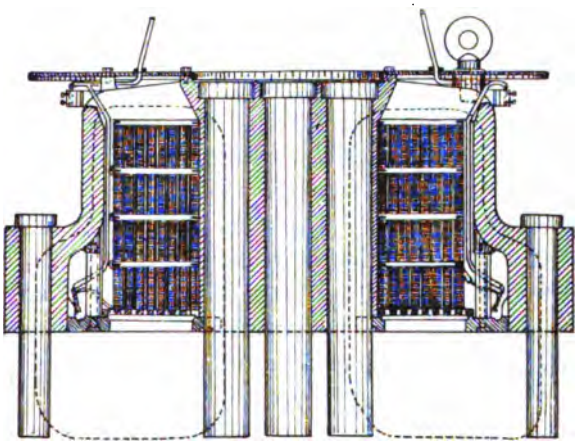


Fig. 585.

tung einstellbarer Kerne (U. S. P. 777221). Hebemagnete für große Tragkraft (z. B. von 1500 kg aufwärts) sind mit Hilfe von Ausschaltern mit Funkenziehern und Schutzwiderstand auszurüsten.

Die elektromagnetischen Bremsen, besonders in der Ringform Fig. 576, lassen sich auch als Kupplungen[2]) ausbilden; die Zahl der Preßflächen läßt sich dabei beliebig vergrößern, so daß man zu einer elektromagnetisch betätigten Lamellenkupplung oder Lamellenbremse kommt. Stoßfrei arbeitende elektrische Kupplungen bildet man am besten so aus, daß die beiden sich anziehenden Scheiben nicht zur Berührung kommen, sondern sich gegenseitig nur vermöge des magnetischen Zuges mitnehmen; dann kann die angetriebene Scheibe bei Ueberlast beliebig schlüpfen. — Eine elektromagnetische Wendekupplung, der durch die zwei

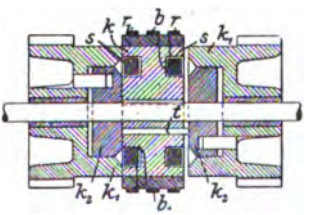


Fig. 586.

[1]) Siehe Niethammer, Elektrische Hebezeuge, S. 331. Die Firma Stuckenholz läßt den Hebemagnet die Eisenstücke nur heben; nach dem Anheben umfaßt ein Bügel oder ein Greifer die Gegenstände und der Magnet wird stromlos.

[2]) Siehe Niethammer, Elektrische Hebezeuge und D. R.-P. 127077, 134491.

Digitized by Google

Schleifringe $r_1 r$ Gleichstrom, unter Mitwirkung des Ringes $b b_1$ jedoch Wechselstrom zum Entmagnetisieren zugeführt wird, zeigt Fig. 586 (D. R.-P. 152751, Crocker-Wheeler Co.). Bildet man Kupplungen nach dem Prinzip der Gleichpol-Wechselstrommaschinen aus, so kann die Erregerspule stillstehen und die Schleifringe entfallen (D. R.-P. 119972: Eine große Magnetspule, deren Achse mit der Wellenachse zusammenfällt, schließt ihre Kraftlinien durch die zwei Kupplungsscheiben).

Die Ausbildung von Drehstromkupplungen ist wesentlich schwieriger, man hat auf der einen Scheibe drei geblätterte Schenkel mit drei Erregerwicklungen und ein geblättertes Joch anzubringen, das zweite Joch sitzt auf der zweiten Scheibe und wird von den Spulen angezogen. Es ist nicht leicht, einen geräuschlosen Gang zu erzielen.

Eine elektrische Bremswirkung läßt sich stets erzielen, wenn man massive Metallscheiben vor einem Polkranz mit abwechselndem Nord- und Südpole rotieren läßt[1]); dasselbe Resultat erzielt man, wenn ein Metallzylinder innerhalb eines Feldgestells rotiert oder ein Drehfeld um die genannte Scheibe oder den Zylinder kreist. Statt der massiven Körper kann man auch solche mit einer Kurzschlußwicklung verwenden, wodurch die Wirkung wesentlich verstärkt wird. Im letzten Fall ist die Bremswirkung leicht zu berechnen, sie ist angenähert

$$A = c \frac{n^2 K^2 Z \cdot q}{\sigma l} \text{ in Watt, } \ldots\ldots \quad (93)$$

oder das Drehmoment

$$M = \backsim \frac{A}{u} \text{ in mkg,}$$

sofern $c = 4 - 4{,}8 \cdot 10^{-16}$ ist und n die sekundliche relative Tourenzahl zwischen Feld und Scheibe bezw. Zylinder, bezogen auf zwei Pole ($n = \frac{up}{60}$, u = minutliche Tourenzahl, 2p Pole), K = Flux pro Pol, Z = totale Leiterzahl der induzierten Kurzschlußwicklung, q = Leiterquerschnitt in qmm, σ = Widerstandskoeffizient, für Kupfer ca. 0,02, l = Länge eines Leiters samt der zugehörigen Stirnverbindungen[2]) in m.

Schwieriger gestaltet sich die Berechnung der eigentlichen Wirbelstrombremsen, deren Bremswirkung durch die in massiven Metallteilen

---

[1]) Viele solche Bremsen finden sich in Niethammer, Elektrische Hebezeuge, S. 245.

[2]) Ist w der Widerstand eines Stabes beim Kurzschlußanker und w_r derjenige der Ringe von Stab zu Stab, so ist der Widerstand pro Stab samt Stirnverbindung

$$w + \frac{w_r^2}{w (\sin \pi p/Z)^2}.$$

Digitized by Google

erzeugten Wirbelströme besteht. Rotiert eine massive Scheibe aus Gußeisen oder Gußstahl vor einem Magnetkranz von p Polpaaren, so werden in der Scheibe [1])

$$A = c \,.\, B_{max}{}^2 d^2 u^{3/2} w_s{}^{-1/2} p^{-1/2} \mu^{-1/2} F \text{ Watt} \quad . \quad . \quad (94)$$

erzeugt; F = Scheibenfläche (cm^2), soweit sie vom Magnetflux bestrichen wird, d = mittlerer Durchmesser (cm) der Ringfläche F, u = minutliche Tourenzahl der Scheibe, w_s = spez. Widerstand (10^4 für Schmiedeisen, 10^5 für Gußeisen), μ = Permeabilität (meist zwischen 100 und 1500), B_{max} = maximale Polrandinduktion, $c = 0{,}8 \,.\, 10^{-10}$. Für übliche Verhältnisse (Gußeisen oder Stahl) kann man Gl. (94) zusammenziehen in

$$A = c' \,.\, B_{max}{}^2 d^2 u^{3/2} p^{-1/2} F \text{ Watt.} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (95)$$

$c' = 0{,}2 \,.\, 10^{-13}$ bis $0{,}8 \,.\, 10^{-13}$, im Mittel etwa $0{,}3 \,.\, 10^{-13}$ und zwar ergaben Versuche 0,27 bis $0{,}35 \,.\, 10^{-13}$; für Bronze- oder Kupferscheiben ist $c' = 0{,}8 \,.\, 10^{-11}$ bis $0{,}5 \,.\, 10^{-11}$, d. h. wesentlich größer.

Der Flux dringt nur ganz wenig in die massive Scheibe ein, meist nur Bruchteile von Millimetern, weswegen solche Magnete wie Hufeisenmagnete ohne Eisenschluß, d. h. ohne Anker zu berechnen sind.

Um die Bremsung zu verstärken, kann man die Erregung der Wirbelstrombremsen dem als Dynamo arbeitenden Motor entnehmen und überdies mechanische Bremsflächen vorsehen.

49. Stromzuleitungen [2]) für nicht ortsfeste Elektromotoren. Grenzschalter.

Die erste Möglichkeit, einem fahrbaren Elektromotor Strom zuzuführen, besteht darin, daß man zwischen dem Motor und einem Steckkontakt oder einem Wand- oder Erdschlußkasten (Fig. 587 oder 588) ein flexibles, auf- und abwickelbares Kabel verlegt, das in der Regel eisenarmiert ist. Zweckmäßig wickelt man das Kabel auf eine Windetrommel (Fig. 589 bis 591 der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft). Diese Trommel kann so eingerichtet werden, daß sich das Kabel selbsttätig aufwickelt und zwar mit Hilfe von Torsionsfedern und Sperrrad und Sperrklinke (Fig. 589). Die Schleifringe (Fig. 591) dienen zur Stromzuführung an das Kabelende.

Handelt es sich um eine fortschreitende Bewegung von elektrisch betriebenen Arbeitsmaschinen in einer bestimmten Bahn, wie bei vielen Hebezeugen und Transportmitteln, so spannt man längs derselben unter

[1]) Siehe Bd. I, S. 199 und E.T.Z. 1905, Ruderberg.

[2]) Vieles unter dieses Kapitel Gehörige wird erst unter Kraftübertragung und Bahnen in Band IV und V besprochen; siehe ferner Niethammer, Elektrische Hebezeuge.

Digitized by Google

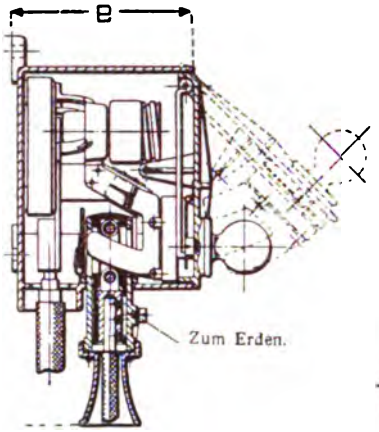
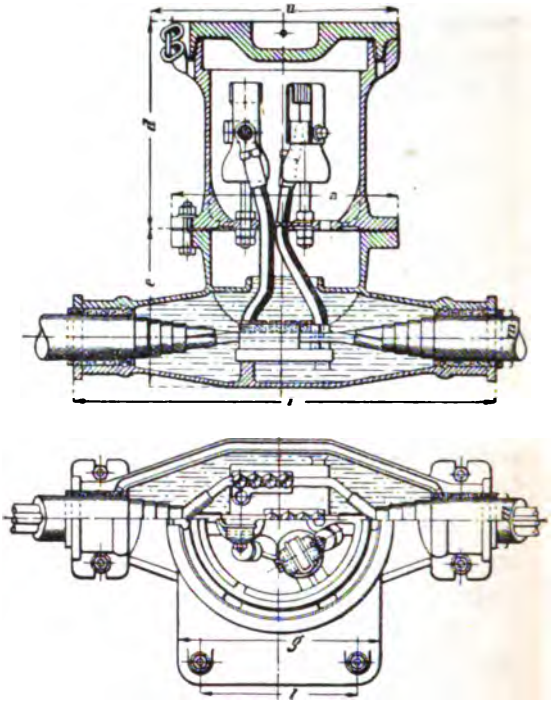


Fig. 587.



A. E.-G. Berlin. Fig. 588.

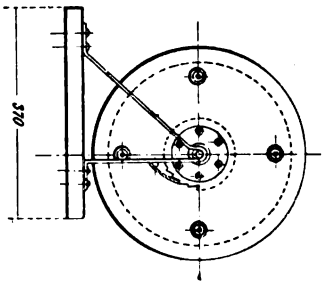


Fig. 589.

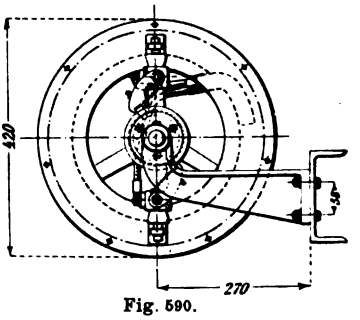


Fig. 590.

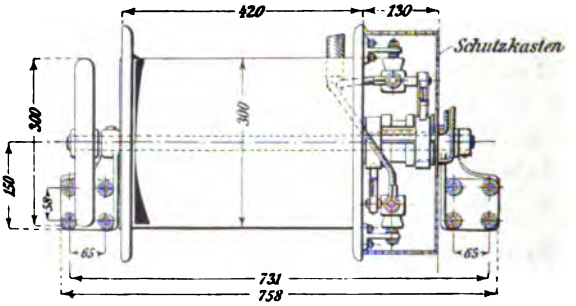


Fig. 591.
A. E.-G. Berlin.

Digitized by Google

Zwischenschaltung von Isolatoren und Spannvorrichtungen einen oder mehrere blanke Drähte oder Schienen (Fig. 592 bis 596), von denen

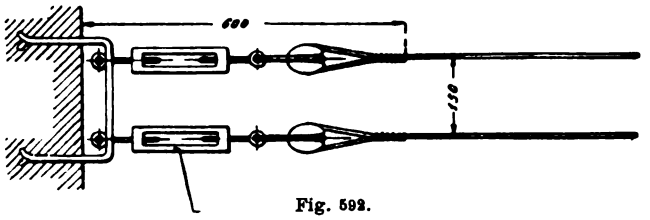


Fig. 592.

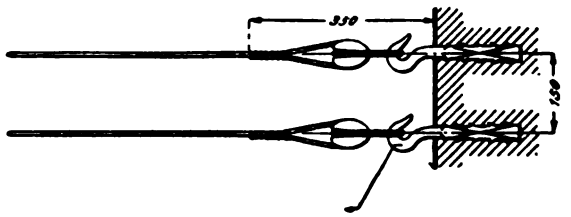


Fig. 593.

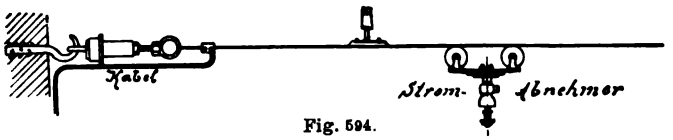


Fig. 594.
A. E.-G.

gleitende oder rollende Abnehmer[1]) den Strom abnehmen (Fig. 594 bis 599). Bei Stützweiten über 15 m werden Leitungsheber und Leitungsstützen (Fig. 594, 600 u. 601) erforderlich.

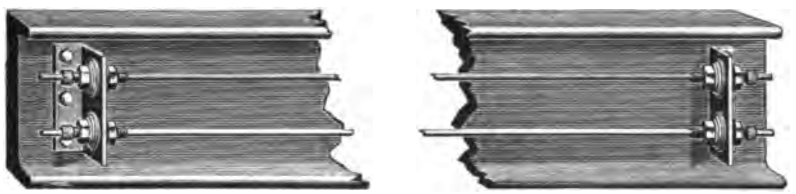


Fig. 595.

Ist der Motor auf einer Arbeitsmaschine montiert, die drehende Bewegungen um eine feste Achse ausführt (Drehkrane, Drehscheiben), so sind auf dieser Schleifringe anzuordnen, denen Schleifbürsten aus Metall oder Kohle den Strom zuführen; Fig. 602 zeigt eine solche unter Oel arbeitende Zuführung der General Electric Co.

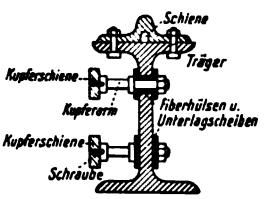


Fig. 596.

[1]) Eine ausführliche Zusammenstellung aller Stromabnehmer findet sich in Niethammer, Die elektrischen Bahnsysteme der Gegenwart.

Digitized by Google

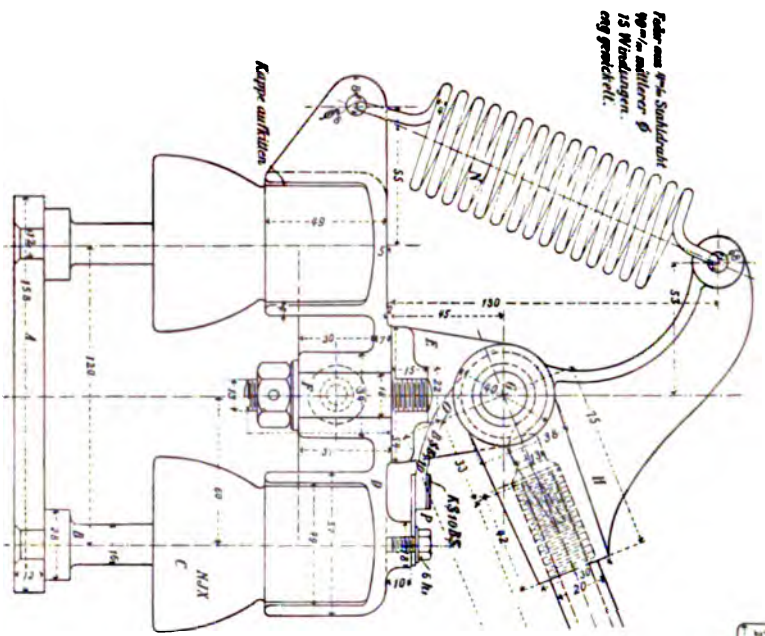


Fig. 597.

Fig. 598.

Digitized by Google

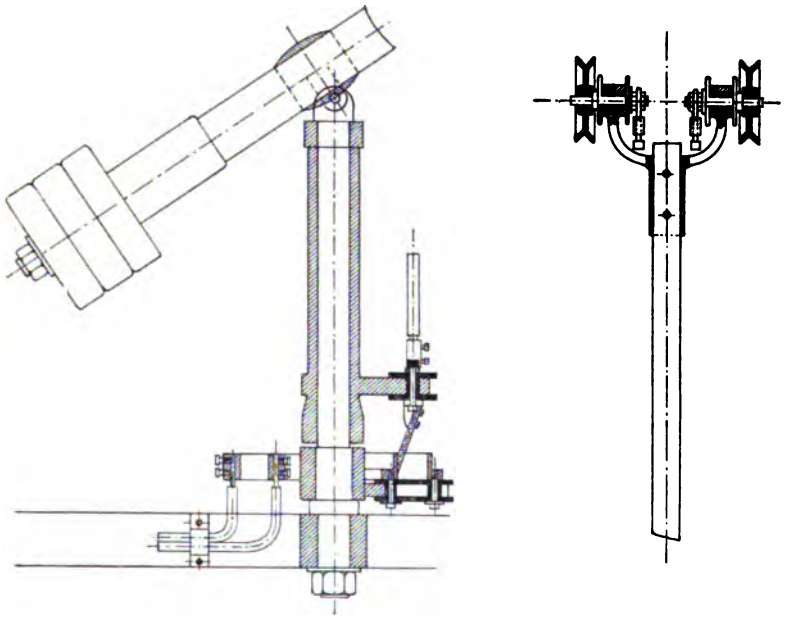


Fig. 599.

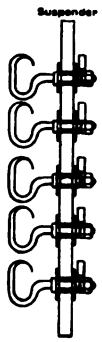


Fig. 600.

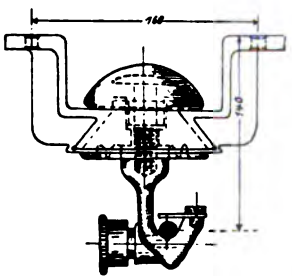


Fig. 601.

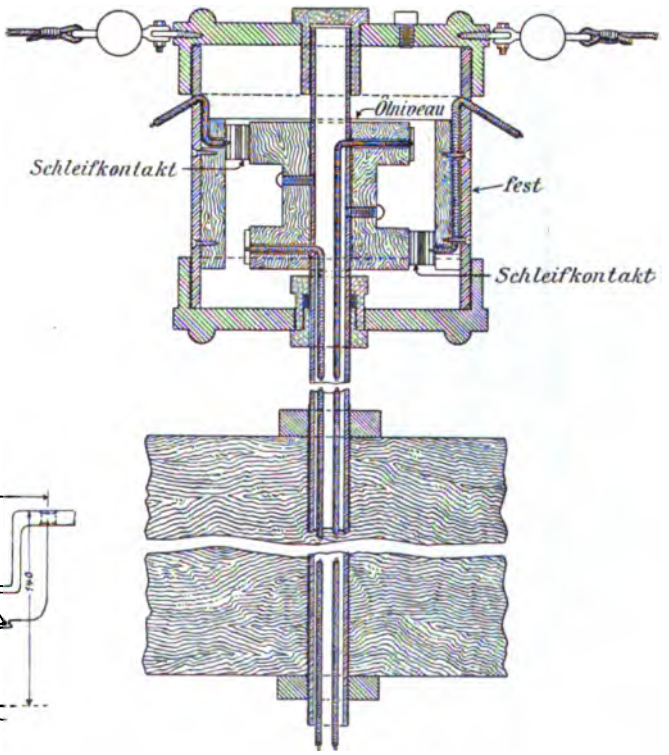


Fig. 602.

Digitized by Google

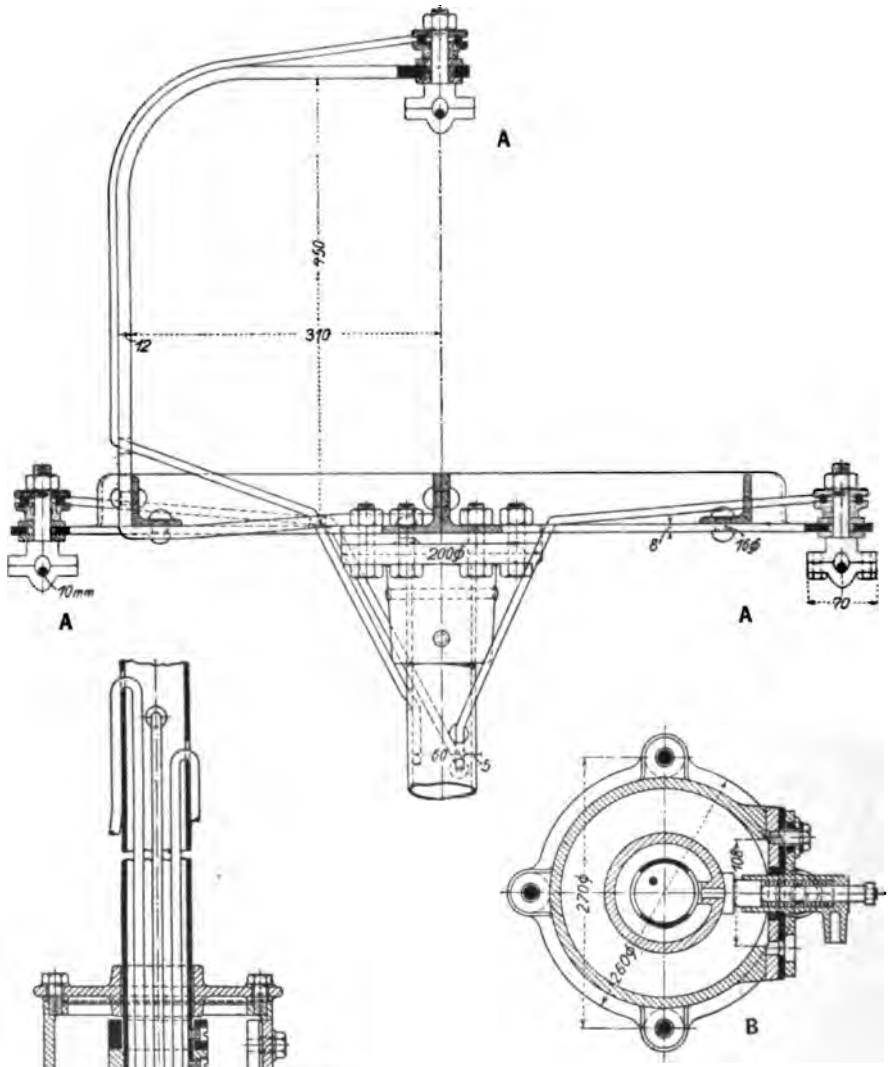


Fig. 603.

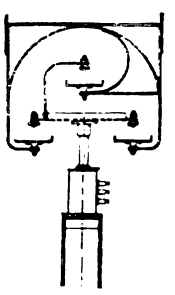


Fig. 604.

Digitized by Google

für Drehscheiben. Aus Fig. 603 bis 605[1]) ist eine dreifache Stromabnahme der Union E.-G. und der Benrather Maschinenfabrik zu ersehen; erst wird der Drehstrom von drei in der Längsrichtung ausgespannten Drähten durch Schleifkontakte A abgenommen und dann durch drei Schleifringe B mit Plungerbürsten aus Metall vom feststehenden

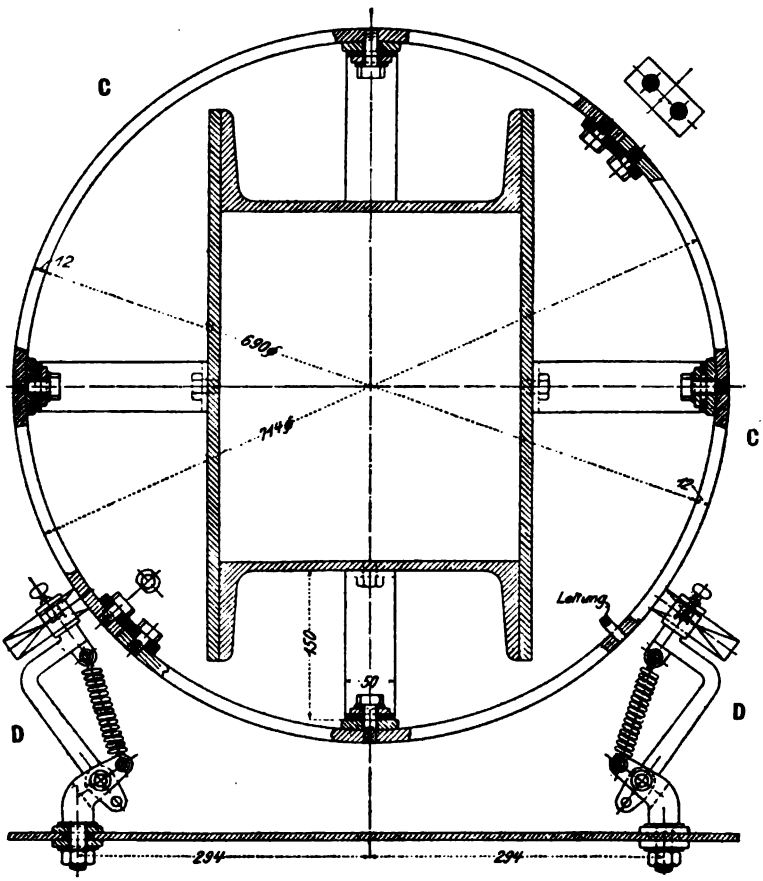


Fig. 605.

Stromabnehmer auf eine drehbare Kransäule übertragen. Von dieser wird zuletzt der Strom wieder durch die beweglichen Schleifringe C auf die feststehenden Metallbürsten D übergeführt. Es ist übrigens ganz zweckmäßig, für solche Fälle die bei Gleichstrommaschinen üblichen Kohlenbürsten zu verwenden; für die Schleifringe können die bei Drehstromgeneratoren und Motoren üblichen Konstruktionen in ihren einfacheren Formen Verwendung finden. Für große Stromstärken eignet

[1]) Z. V. D. I. 1901, S. 435.

Digitized by Google

sich der vielfache Stromabnahmering Fig. 606 der Union E.-G., der zugehörige Schleifring Fig. 607 ist zweiteilig. — In Fällen, wo die Dreh-

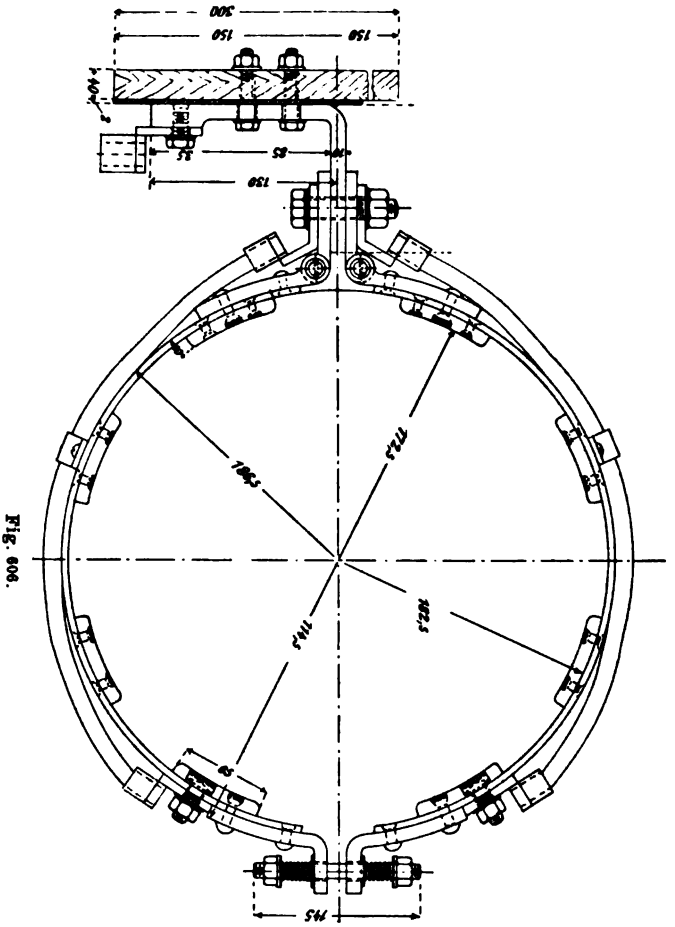


Fig. 606.

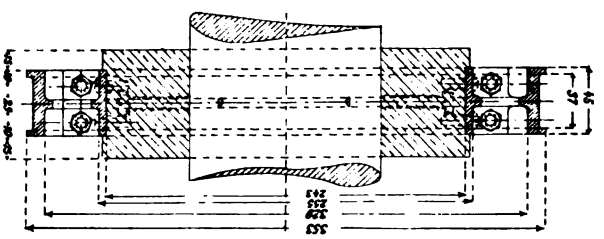


Fig. 607.

bewegung weniger als eine volle Umdrehung beträgt, kann die Stromzuführung durch flexible Kabel erfolgen.

Digitized by Google

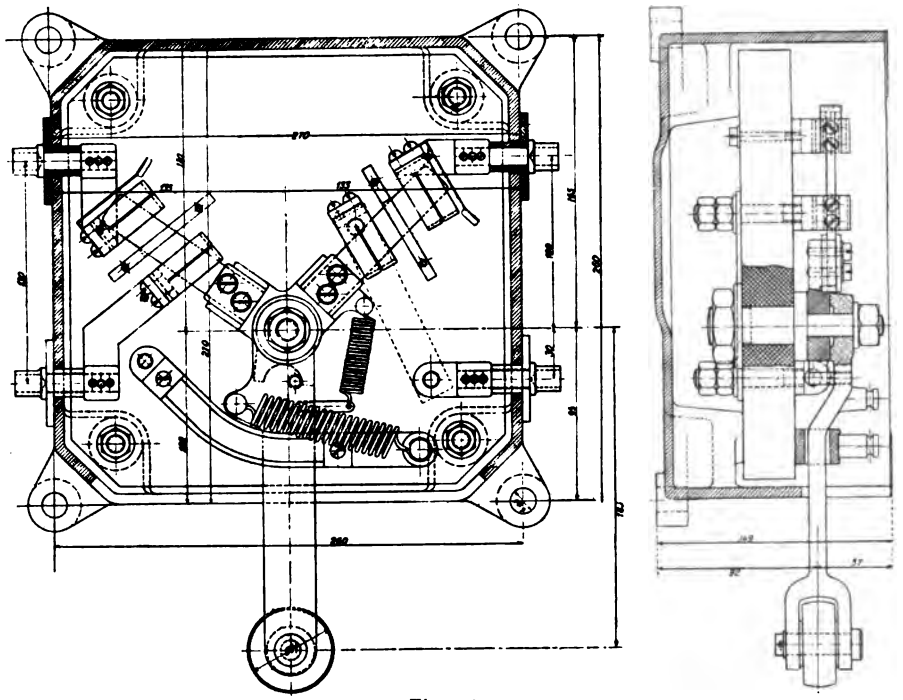


Fig. 608.
Union E.-G.

Zur selbsttätigen Begrenzung des Fahrweges von elektrisch betriebenen Fahr- und Hebezeugen verwendet man sogen. Grenz- oder Endschalter (Fig. 558 u. 608 der Union E.-G. für Drehstrom und Fig. 609 von Siemens & Halske), welche durch Anschläge betätigt werden und den Hauptstrom öffnen, wenn das betreffende Fahrzeug am Ende seiner Bahn angelangt ist. Beide gezeichneten Grenzschalter haben zunächst toten Gang und dann Schnappbewegung mit Hilfskontakt zum Funkenziehen.

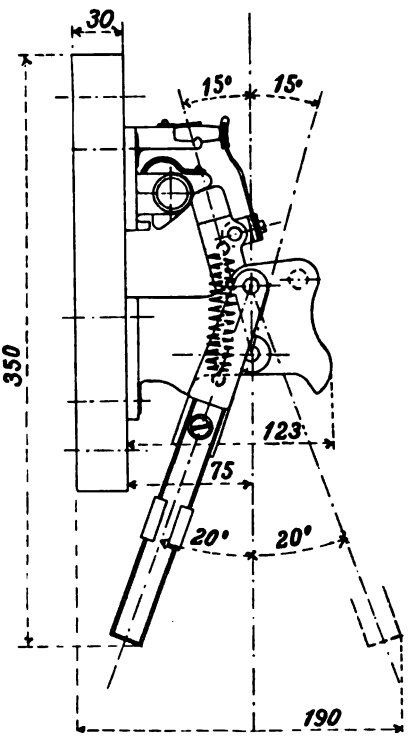


Fig. 609.

Digitized by Google

50. Maße und Preise von Apparaten.

Alle Maße in mm, durchweg überschlägige Zahlen.

A. Schalter.

a) Hebelschalter bis 600 Volt:

Strom Amp.	Zahl der Hebel	Grundfläche Breite × Höhe mm	Tiefe [1]) mm	Gewicht kg	Preis Mk.	
50	1	70 × 140	80	0,9	7	
	2	130 × 140	80	1,8	13	
	3	180 × 140	80	2,7	18	
200	1	100 × 300	120	5,0	20	samt Grundplatte
	2	200 × 300	120	8,5	30	
	3	300 × 300	120	12.0	45	
2000	1	200 × 440	190	40	300	
	2	440 × 440	190	75	500	
	3	670 × 440	190	120	700	

Der Handgriff steht über die Grundplatte noch 50 bis 80 mm vor.

b) Hebelschalter bis 5000 Volt ohne Gestänge:

Strom Amp.	Zahl der Hebel	Grundfläche mm	Höhe mm	Gewicht kg	Preis Mk.
30	1	450 × 230	500	15	100
	2	450 × 320	500	20	120
	3	450 × 460	500	35	150
300	1	1000 × 300	600	70	300
	2	1000 × 400	600	80	350
	3	1000 × 550	600	100	400

c) Kleine Dosenschalter: 2 Amp., 250 V., 0,1 kg, 0,8 Mk., Umschalter 1,0 Mk. Bei 40 Amp. 250 V., 1 kg, 15 Mk.

Steckkontakt (Stöpsel und Anschluß): 2 Amp., 250 V., 0,2 kg, 1,50 Mk. Bei 10 Amp. 500 V., 0,6 kg, 5 Mk. Bei 150 Amp. 500 Volt, 20 kg, 150 Mk.

Deckenrosette: 2 Amp., 250 Volt, 0,3 kg, 1,2 Mk.

[1]) In geschlossener Lage, offen etwa Tiefe = Höhe.

Digitized by Google

d) Hebelumschalter bis 600 Volt:

Amp.	Zahl der Hebel	Grundfläche mm	Tiefe mm	Gewicht kg	Preis Mk.	
50	1	70 × 220	80	1,0	8,5	samt Grundplatte
	2	130 × 220	80	2,1	14	
	3	180 × 220	80	4,0	26	
200	1	100 × 440	120	6,5	28	
	2	200 × 440	120	11	40	
	3	300 × 440	120	16	57	
2000	1	290 × 620	200	60	400	
	2	520 × 620	200	110	600	

e) Wasserdichte Schalter: 10 Amp. und 250 Volt 8 Mk.

f) Trennschalter: 60 Amp., 3000 Volt, 3 kg, 15 Mk.
400 Amp., 12000 Volt, 25 kg, 100 „ } einpolig

g) Selbsttätige Maximalschalter bis 600 Volt, einpolig:

Amp.	Grundfläche Breite × Höhe mm	Tiefe mm	Gewicht kg	Preis Mk.
30	150 × 200	200	5	60
100	200 × 250	250	20	120
1000	300 × 400	400	60	450

h) Selbsttätige Minimalschalter bis 600 Volt:

Amp.	Grundfläche Breite × Höhe mm	Tiefe mm	Gewicht kg	Preis Mk.
100	180 × 230	150	5	80
1000	330 × 480	230	35	400
3000	300 × 500	250	60	650

i) Hörnerschalter:

100 Amp. und 20000 Volt, dreipolig, größte Breite = 1000 mm
„ Länge = 750 „
„ Höhe = 2000 „ } ohne Gestänge.
Gewicht 190 kg, 500 Mk.

Bei einpoliger Ausführung wird die Breite etwa die Hälfte, die anderen Maße bleiben; bei 5000 Volt sinken die Maße auf ½ bis ⅔ der obigen.

800 Amp., 6000 Volt, dreipolig: 220 kg, 800 Mk.

Digitized by Google

k) Röhrenschalter:

50 Amp., 3000 Volt, dreipolig, 860 × 550 × 580 mm, 55 kg, 350 Mk.
200 „ 15000 „ „ 860 × 550 × 580 „ 65 „ 500 „.

l) Oelschalter:

	Amp.	Volt	Maße des Oelgefäßes ohne Gestänge	Gewicht kg	Preis Mk.	
dreiphasig	1200	2500	500 × 500 × 700[1])	270	1800	(+ 400 Mk. für elektrische Auslösung)
	200	7000		160[2])	200	
	100	13000	400 × 500 × 600	180	800	
	200	30000	1800 × 800 × 900 Grundfläche	300	2000	

Neuerdings werden auch Oelschalter 20 bis 50 % billiger und leichter geliefert, z. B. 40000 Volt, 40 Amp., dreiphasig, 900 Mk., 200 kg.

Zeitrelais oder Rückstromrelais ohne Transformatoren 6 kg, 150 Mk., 220 mm Durchmesser, samt allem Zubehör 600 bis 1000 Mk.

B. Sicherungen.

a) Stöpselsicherungen bis 500 Volt, einpolig:

3 bis 60 Amp., Grundfläche 40 × 50 bis 90 × 80 mm, 0,1 bis 1 kg, 0,8 bis 2,5 Mk. pro Stück gesamte Sicherung. Stöpsel allein 0,25 Mk.

b) Streifensicherungen bis 700 Volt, einpolig:

Amp.	Grundfläche Breite × Höhe mm	Tiefe[3]) mm	Gewicht kg	Preis Mk.
50	50 × 300	75	1,0	4
200	70 × 350	100	2,0	7
2000	150 × 500	180	18	50

Zweipolig die doppelte Breite, dreipolig die dreifache, ebenso Gewicht und Preis.

c) Röhrensicherungen bis 10000 Volt, einpolig:

Amp.	Grundfläche Breite × Höhe mm	Tiefe mm	Gewicht[4]) kg	Preis[4]) Mk.	
6	90 × 260	240	10	25	Zweipolig 70—90 % mehr, dreipolig das 2½—3fache
200	90 × 530	340	15	30	

d) Freileitungsicherung: 500 Volt, 200 Amp., 1 kg, 4 Mk. pro Stück.

[1]) In der Höhe Platz zum Herablassen des Oelgefäßes lassen.
[2]) Davon entfallen ca. 35 kg auf Oel.
[3]) Samt Grundplatte.
[4]) Samt Schmelzstreifen.

Digitized by Google

C. Blitzschutz.

Pro Pol: Walzenblitzableiter bis 500 Volt, 1 kg, 10 Mk.; bei 20000 Volt, 22 kg, 170 Mk., Erdplatte 40 kg, 8 Mk.

Hörnerblitzableiter bis 15000 Volt, Höhe × Breite 700 × 600 mm, 12 kg, 35 Mk., Erdplatte 40 kg, 8 Mk.

Ueberspannungssicherung	0,6 kg,	5 Mk.
Funkenstrecke	9 „	30 „
Flüssigkeitswiderstand dazu	15 „	70 „

D. Zellenschalter.

a) Runde Einfachzellenschalter, je 20 Zellen:

Amp.	Durchmesser mm	Gewicht kg	Preis Mk.	
30	250	4	50	Doppelzellenschalter wiegen und kosten das 1½ fache.
130	420	15	120	

b) Gerade Einfachzellenschalter:

Amp.	Stufenzahl	Gewicht kg	Preis Mk.	Grundfläche Länge × Breite mm	Tiefe mm
60	12	20	200	600 × 180	300
	33	40	350	1200 × 180	300
160	12	80	300	700 × 250	350
	33	120	450	1400 × 250	350
400	12	110	400	950 × 300	400
	33	150	700	1700 × 300	400

Doppelzellenschalter wiegen und kosten das 1½ fache, die Breite ist das Doppelte.

c) Doppelzellenschalter:

Amp.	Stufenzahl	Gewicht kg	Preis Mk.	Grundfläche Länge × Breite mm	Tiefe mm
1500	20	1300	2000	1200 × 650	550
	33	1400	3000	2500 × 650	550

Für selbsttätige Zellenschalter ergibt sich ein Zuschlag von 400 bis 800 Mk.

Digitized by Google

E. Nebenschlußregler.

Tabelle a.

Für Maschinen bis KW	Maße Kontaktplatte	Tiefe mm	Gewicht kg	Preis Mk.	
3	200 × 200	150	8	10	Für stark variable Spannung 50% mehr.
80	300 × 300	300	15	90	
200	500 × 350	350	30	150	

Dazu eine selbsttätige Verstellvorrichtung 300 bis 800 Mk.

Tabelle b.

Kapazität des Reglers	Stufenzahl	Kontaktplatte mm	Tiefe mm	Gewicht kg	Preis Mk.
150 Watt	8	160 × 160	90	3	20
	16				25
1200 „	18	410 × 390	170	20	80
	52				95
4000 „	48	560 × 620	280	50	280

Einspulenreguliertransformator: 2,5 KW, 1000 Volt, 11 Kontakte, 800 bis 1500 Mk.,
20 „ 2000 „ 21 „ 2000 „ 3000 „

F. Anlasser.

a) Einfacher Anlasser (220 Volt):

PS	Maße Kontaktplatte mm	Tiefe mm	Gewicht kg	Preis Mk.	
1	200 × 230	180	5	40	Mit 50% Tourenregelung das Doppelte, für halbe Last 60—80% davon
3	300 × 360	200	12	80	
25	430 × 470	480	40	250	
100	720 × 520	550	180	800	
300	720 × 520	1250	500	2000	

Für Nullstrom- und Maximalausschaltung 10 bis 30 % Zuschlag.

b) Wendeanlasser: Selbstanlasser:

PS	Gewicht kg	Preis Mk.	Gewicht kg	Preis Mk.
3	15	150	70	400
30	60	370	110	1200

Digitized by Google

c) Kontroller (Schaltwalzen):

PS	Gewicht kg	Preis des Kontrollers Mk.	Preis des Widerstandes Mk.	Maße ohne Widerstände Höhe mm	Grundfläche mm
3	50	220	60	600	350 × 200 (350)
50	170	950	250	1000	500 × 250 (450)

Das Maß in der ( ) ist für den freizulassenden Raum maßgebend.

d) Anlaßwiderstände ohne Kontaktbrett:

PS	Grundfläche mm	Höhe mm	Gewicht kg	Preis Mk.
3	280 × 350	130	5	50
50	380 × 470	300	50	120
200	720 × 520	1050	420	700

e) Flüssigkeitsanlasser (Gleich- und Drehstrom):

PS	Grundfläche mm	Höhe mm	Gewicht kg	Preis Mk.
20	280 × 400	670	60	100
150	600 × 700	1200	220	350

f) Oelanlasser:

PS	Gewicht kg	Preis Mk.
5	15	60
50	80	200
300	450	800

g) Umkehr-Kohlenanlasser:

PS	Gewicht kg	Preis Mk.
5	110	600
20	150	900

Digitized by Google

h) Einfache Graphitanlasser (C. Flohr):

PS	Maße[1]) in mm	Gewicht kg	Preis Mk.
5	350 . 250 . 250	15	80
40	500 . 650 . 400	90	230

G. Hausanschlußkästen

bis 500 Volt, 200 Amp., 10 kg, 20 bis 30 Mk.

H. Bremsmagnete.

a) Gleichstrom:

Hubarbeit	Gewicht kg	Preis Mk.	Durchmesser mm	Höhe (eingezogen) mm
10 kg × 40 mm	35	150	250	230
40 kg × 80 mm	100	400	320	410

b) Drehstrom:

Hubarbeit	Gewicht kg	Preis Mk.	Breite × Länge mm	Höhe (eingezogen) mm
1500 mm kg	45	230	140 × 380	550
3000 mm kg	85	300	175 × 500	750

J. Schalttafelmeßinstrumente.

a) Drehspuleninstrumente:

Volt	Größter Gehäusedurchmesser mm	Höhe mm	Gewicht kg	Preis Mk.	
3	180	97	4,5	60	
750	180	97	6	85	
3	245	110	6	90	
750	245	110	8	140	
Amp.					
1	245	110	6	90	samt Nebenschluß; ein
1000	245	110	11	110	Nebenschluß separat für
6000	245	110	37	350	1000 Amp. ca. 60 Mk.

Verpackung 1½ bis 1%.

[1]) Breite × Tiefe × Höhe.

Digitized by Google

b) Elektromagnetische Instrumente:

Volt	Größter Durchmesser mm	Höhe mm	Gewicht kg	Preis Mk.	
3	220	100	3,5	35	Für Wechselstrom 5 Mk. mehr.
100					
600	220	100	5,2	65	
	dazu Widerstand 210 × 145 × 75 mm				
Amp.					
1	250	100	3,5	35	
30					
400			4	50	
	dazu kommen ev. rückwärtige Bolzen von 70 mm Tiefe				

c) Hitzdrahtinstrumente:

Volt	Größter Durchmesser mm	Höhe mm	Gewicht kg	Preis Mk.	
3	225	110—130	3,5	90	
200					
800	225	110—130	8	160	
5000	225	110—130	30	420	
Amp.					
1	225	100	4	90	Für Hochspannung 5 Mk. mehr
1000	225	100	9	210	
10000	225	100	115	1380	

Registrierendes Volt- und Amperemeter 20 Amp. oder 100 Volt, 10 kg, 200 Mk.; 600 Amp. oder 2000 Volt, 18 kg, 250 Mk.

d) Wattmeter, einphasig:

Amp.	Volt	Größter Durchmesser mm	Höhe mm	Gewicht kg	Preis Mk.
2.5	150	225	140	3,5	150
400	150	225	140	3,8	220

Vorschaltwiderstände bis 1000 Volt, 1,9 kg, 45 Mk.
„ bis 10000 „ 20 „ 300 „
Registrierende Wattmeter 200 Volt, 200 Amp., 12 kg, 460 Mk.

Digitized by Google

e) Phasenmesser:

10—150 Amp., 200 Volt, 6 kg, 250—300 Mk., größter Durchmesser 225, Höhe 150 mm.

f) Meßtransformatoren [1]):

Strom: 5—600 Amp., 10 kg; 60—90 Mk., l × b × h = 250 × 200 × 300
10000 „ 45 „ 800 „ l × b × h = 500 × 200 × 400.

Spannung, einphasig:

bis 2000 Volt, 9 kg, 80—90 Mk.; l × b × h = 230 × 190 × 390
„ 20000 „ 35 „ 300 „ l × b × h = 300 × 260 × 600;
dreiphasig 15 kg, 200 Mk.; l × b × h = 300 × 200 × 300 (2000 Volt)
„ 40 „ 400 „ l × b × h = 500 × 250 × 400 (20000 „).

g) Voltmeterumschalter: 7 Kontakte, doppelpolig. 600 Volt, Grundfläche 230 mm Durchmesser, 3,5 kg, 50 Mk.

h) Zähler:

	Amp.	Volt	Grundfläche mm	Tiefe mm	Gewicht kg	Preis Mk.
Motorzähler Gleichstrom	3	250	240 Φ	160	5	70
	15	600	250 × 210	180	7	130
	1200	600	270 × 270	270	30	1500

Zähler für Vorausbezahlung 5 Amp., 110 Volt, 220 Mk.
Straßenbahnwagenzähler 280 Mk.

	Amp.	Volt	Gewicht	Mk.
Wechselstromzähler:	5	600	10	140
	1200	600	40	380

Elektrolytischer Zähler bis 250 Volt, 20 Amp., 85 Mk.; 1000 Volt, 100 Amp., 130 Mk.

Zeitzähler 25 bis 30 Mk.

[1]) l = Länge, b = Breite, h = Höhe in mm.

Digitized by Google

Zweiter Teil.

Unterlagen für die Projektierung elektrischer Anlagen.

Digitized by Google

Digitized by Google

Die nachstehenden Angaben sind für überschlägige Projekte zusammengestellt[1]). Für spezielle Fälle sind stets von geeigneten Firmen Kostenanschläge einzufordern und der Konsum durch Umfrage festzulegen. Die Projekte sind mit Rücksicht auf absolute Betriebssicherheit der Anlage und dann mit einem Minimum von Anlage- und Betriebskosten auszuarbeiten, d. h. es soll die Summe der Verzinsung, Abschreibung und der eigentlichen Betriebskosten für Brennmaterial, Löhne, Reparaturen und zur Deckung der Energieverluste ein Minimum werden.

Die aufgezählten Daten sind Berichten ausgeführter Anlagen, z. B. der Statistik über Elektrizitätswerke von Döpke und von Wyßling, sowie Preislisten entnommen. Ausführliches über die Anordnung und Projektierung elektrischer Anlagen enthält Band IV.

1. Bestimmung des Konsums.

a) Städtische Zentralen und Ueberlandzentralen.

Pro 10000 Einwohner[2]) oder Anwohner lassen sich folgende Anschlüsse erwarten:

Licht:

1000 bis 10000 (Mittel 4000 bis 5000) installierte Glühlampen zu 16 NK (= 50 Watt) oder deren Aequivalent, davon können 10 bis 20 % als Bogenlicht angenommen werden; oder auch

30 bis 600 KW, im Mittel etwa 100 bis 250 KW.

Elektromotoren:

30 bis 400 PS (Mittel 70 bis 150 PS) installiert oder

30 bis 300 KW, im Mittel etwa 70 bis 150 KW.

Licht und Kraft:

100 bis 800 KW installiert, im Mittel 200 bis 400 KW.

---

[1]) Weitere Unterlagen findet man in Joly, Technisches Auskunftsbuch, Häder Kalkulieren etc., dann in Osthoff, Kostenberechnungen.

[2]) Fremde sind entsprechend der Aufenthaltszeit einzurechnen.

Digitized by Google

Straßenbahn:

50 bis 450 PS installiert als Wagenmotoren oder
30 bis 300 KW, meist 100 bis 150 KW,
100 PS installierte Bahnmotoren benötigen im Mittel 10 bis 20 KW in der Zentrale, maximal das zwei- bis zehnfache.

Licht, Kraft und Bahn:

100 bis 3000 KW maximale Leistung der Zentrale samt Reserve, meist
200 bis 500 KW Leistung der Zentrale.

Für Bahnen kann man auch 30 bis 200 PS als Wagenmotoren pro Kilometer Strecke oder 20 bis 100 KW Zentralenleistung pro Kilometer Strecke oder 10 bis 50 KW Zentralenleistung pro Motorwagen rechnen.

Auf 10000 Einwohner kommt im Mittel eine Zentralenleistung von 300 KW (ca. 210 KW in Maschinen und 90 KW in Akkumulatoren).

b) Beleuchtung.

Es sind anzusetzen 10 bis 50 Lux (die letzte Zahl gleich Tageslicht, die erste notdürftige Beleuchtung).

α) Bogenlicht:

Pro Quadratmeter Bodenfläche sind zu rechnen für:

Geschäftslokale, Restaurants	8—4 NK
Fabriken	4—2 „
Festsäle, Zeichensäle	9—14 „
Bahnhofshalle	1—0,5 „
Höfe und Straßen	1—0,5 „

Höhe der Bogenlampe im Freien 4 bis 10 m (bis 25 m), im Innern bis 3 m herunter; Entfernung der Lampen im Freien 20 bis 100 m bei Lampen mit 500 bis 1000 NK, meist 10 Amp.

Pro mittlere NK ist zu rechnen:

	Große	kleine Stromstärke
Gewöhnliche Gleichstromlampe	0,5—1,5 Watt	
„ Wechselstromlampe	0,8—2 „	
Dauerbrandlampe	¾—2 „	
Effektlampe	¼—½ „	
Quecksilberlampe	0,3—0,5 „	
Scheinwerfer (50 Volt): Durchmesser	230	900
Amp.	10	130

Für gute Bogenlichtbeleuchtung kann man im Mittel in Watt pro Quadratmeter an den Lampenklemmen rechnen:

Pro 10 Lux und qm Innenraum 2 bis 4 Watt.

Hohe durchsichtige Maschinenwerkstätten . . .	8,5 Watt/qm
Niedrige verstellte Werkstätten	11 „
Eisenhandlungen und Schuhläden	8,5 „
Wäsche-, Kleider- und Stoffläden (20 bis 30 Lux)	11—14 „
Spinnereien (30 bis 15 Lux)	12—15 „
Bureaus	17 „
Zeichensäle (45 bis 30 Lux)	20 „

Digitized by Google

β) Glühlicht:

Pro Quadratmeter Bodenfläche sind erforderlich in:

Wohnräumen	5—3 NK
Treppen, Nebenräumen	1—2 „
Läden, Bureaus	2—7 „
Hotelzimmern	2—4 „
Restaurants, Schulzimmern	1—20 „
Festsälen	9—15 „
Schaufenstern	50—100 „

Für Schulen rechne man auf $1^1/_3$ qm 1 Glühlampe zu 16 NK 3,7 m über dem Boden (E.T.Z. 1905, S. 162).

Pro Kubikmeter rechne man 0,4 bis 0,8 NK.

Straßenbeleuchtung: 40 bis 50 Lampen à 16 NK pro Kilometer, auf 20 bis 100 Einwohner eine Straßenglühlampe zu 16 bis 32 NK.

Zur Erzeugung einer NK sind erforderlich:

Glühlampe	110 Volt,	2—3,5 Watt	
Glühlampe	220 „	3,5—4 „	
Nernstlampe		1,5—1,8 „	(bis 500 Volt gebaut)
Osmiumlampe		1,5 „	(„ ca. 50 „ „)
Zirkonlampe		2 „	(f. ca. 40 „ „)
Tantallampe		1,5 „	(für 110 „ „)

γ) Es benötigen ungefähr:

Kleine Bureaus	5 Lampen zu 16 NK,
Kleine und mittlere Wohnungen	3 bis 7 Lampen zu 16 NK,
Große Wohnungen	10 Lampen zu 16 NK,
Luxuswohnungen	50 Lampen zu 16 NK,
Wohnhaus mit 10 bis 20 Wohnungen	50 bis 100 Lampen zu 16 NK,
Kleines Restaurant	10 Lampen zu 16 NK,
Großes Restaurant	50 bis 200 Lampen zu 16 NK,
Hotels	100 bis 2000 Lampen zu 16 NK und 2 bis 20 Bogenlampen,
Kleine Fabriken	100 Lampen zu 16 NK,
Maschinenfabriken	250 bis 450 Watt pro 100 qm Bodenfläche oder 2 bis 4 NK pro Quadratmeter. Pro Schraubstock eine Lampe, pro Werkzeugmaschine 1 bis 3 Lampen,
Warenhäuser	5000 bis 40000 Lampen zu 16 NK oder ihr Aequivalent,
Spinnereien und Webereien	außer 2 bis 4 NK/qm allgemeiner Beleuchtung pro Webstuhl oder Spinnmaschine 1 bis 2 Lampen, überhaupt pro Arbeitsmaschine 1 bis 2 Lampen,
Schulen	100 bis 500 Lampen zu 16 NK,
Theater	1500 bis 3000 Glühlampen, 4 bis 10 Bogenlampen und Scheinwerfer, Motoren mit zusammen 5 bis 50 PS, elektrische Oefen und Bügeleisen etc., zusammen meist 70 bis 300 KW (Mittel 120 KW). Kleine Theater brauchen nur etwa 5 bis 20 KW,

Digitized by Google

Banken . . . . . 100 bis 2000 Glühlampen,
Spitäler . . . . . 200 bis 1000 Glühlampen.

c) Elektromotoren. Wirkungsgrad η siehe Bd. I, S. 12. Angenähert für $^1/_2$—5 PS $\eta = 60$—$80\,\%$, 10—100 PS $\eta = 85$—$90\,\%$, darüber $\eta = 90$—$93\,\%$, cos φ unter 1 PS 0,6—0,8, über 1 PS 0,8—0,9. Die Fabriktransmissionen verzehren 20 bis 70 (50) % der eingeleiteten Energie.

Werkzeugmaschinen: Für Leitspindel- und Zugdrehbänke bei einer Spitzenhöhe von 110—480 mm und einer Spitzenweite von 500—4500 mm ist der Kraftbedarf bei schnellstem Leergang $^1/_4$—2 PS; für Plandrehbänke bei einem Planscheibendurchmesser von 900—4000 mm und einem größten Drehdurchmesser von 1200 bis 5400 mm 2—10 PS; für Horizontalplanscheibenwerke, Planscheibendurchmesser = mm 1270—4000, größter Drehdurchmesser = mm 1300—7700, 2—15 PS; Revolverdrehbänke (mit einem Werkzeug arbeitend), Spindelachsenhöhe = mm 230—425, größter Drehdurchmesser = mm 520—865, größte Drehlänge = mm 850—1600, 1—5 PS; Horizontalbohrwerke, Spindelhöhe max. = mm 550—1400, Bohrlänge = mm 1000—3500, 1,5—2 PS; Bohrmaschinen $^1/_2$—2 PS; Fräsmaschinen für Räder von 500—1200 und bis 1400 mm Durchmesser 1—5 PS; Schleifmaschinen, Schmirgelscheibendurchmesser = mm 100—550, $^1/_2$—2 PS; Hobelmaschinen, Hobellänge = mm 1000—5250, Hobelbreite = mm 650—2660, Hobelhöhe = mm 600—2660, 1—10 PS; Shapingmaschinen, Hub = mm 120—650, Hobelbreite = mm 380—975, 0,5—1 PS; Vertikalstoßmaschinen, Hub = mm 130—200, Stoßbreite = mm 320—750, Stoßtiefe = mm 220—750, 0,5 bis 1,5 PS; Schmiedehämmer (Fallhämmer), Bärgewicht 150—250 kg, Hub max. = mm 1100 bis 1300. Umdrehungen pro Minute 155—126, 7,5 PS; Lufthämmer 3—20 PS; Stanzen und Scheren 2—6 PS; Blechbiegemaschinen 5—20 PS; Kaltsägen 2—5 PS; Bolzenpressen 1—6 PS; Drahtflechtemaschinen $^1/_4$—4 PS; Drahtstiftpressen $^1/_4$—$1^3/_4$ PS; Drahtzieherei $^1/_8$—5 PS; Nietpressen $^1/_4$—4 PS; Pochwerke $^1/_2$—2 PS; Rohrbearbeitungsmaschinen $^1/_4$—$2^1/_2$ PS, Rohrsägen 5—10 PS.

Pro 100 qm Fabrikfläche 2—15 PS Motoren.

Holzbearbeitungsmaschinen: Hobel-, Fräs- und Schleifmaschinen 2—6 PS, Bohrmaschinen und Drehbänke 1 PS, Bandsägen 2 PS, Kreissägen 5—10 PS, Holzspaltmaschinen $^1/_2$ PS, Walzenvollgatter 15—20 PS; Sägewerk 30—50 PS.

Aufzüge und Winden: $PS = \frac{Q \cdot v}{75\,\eta}$. Q = kg Last, v Geschwindigkeit in m/Sek. = etwa 0,5—1,5 m für Personen und 0,1—0,3 für Lastaufzüge, η Wirkungsgrad = 30—60 %, meist Motoren für 1—20 PS. Rolltreppen 5 PS.

Laufkrane: PS des Hubmotors wie bei Aufzügen, Kranfahrmotor 50—100 % des Hubmotors, Katzenmotor 20—30 % des Hubmotors, meist Hub- und Fahrmotor 5—50 PS, Katzenmotor 1—15 PS bei 5—75 t Tragkraft. Hub 10—1 m/min., Fahren 150—30 m/min. und Katze 50—10 m/min.

Drehkrane: Hubgeschwindigkeit 15—80 m/min., Drehgeschwindigkeit 30 bis 250 m/min., Fahren 10 m/min., Hubmotor 10—60 PS, Drehmotor und Fahrmotor 3 bis 15 PS.

Brückenkrane: 3—12 Motoren zu 5—50 PS.

Spills: 10—25 PS; kleine Laufkatzen 1—3 PS; Schiebebühnen 5—25 PS und zwar PS = Last in t $\times$ 5 $\times$ Geschwindigkeit in m/Sek. : 75.

Drehscheiben 2—10 PS.

Bagger 50 PS zum Baggern, 30 PS zum Fahren; Exkavator 30 PS Hubmotor, 5 PS Drehmotor; Schleusen 30—50 PS pro Doppeltor und 10—20 PS pro Schieber;

Digitized by Google

Schiffshebewerk 100—2000 PS (größere Hebewerke haben 5—20 Motoren von 5 bis 500 PS zum eigentlichen Heben, zum Oeffnen der Tore, für Pumpen, Spills etc.).

Fabriks- und Hüttenwerkslokomotiven 10—50 PS.

Förderschnecken: PS = 0,02 × Länge der Schnecke in m × Liter pro Sek. × kg pro cbm.

Elevatoren: PS = 0,02 × Liter pro Sek. × kg pro cbm × (Förderhöhe in m + 1).

Hüttenwerke: Chargiermaschinen 4 Motoren zu 10—15 PS; Rollgänge 20 bis 100 PS; Walzenzugmaschinen 100—1000 PS (Mittel 400 PS). Pochwerke 2—5 PS; Waschtrommeln 15 PS; Steinbrecher 6—12 PS. Gießwagen für 20 t je ein Motor zu 15 PS zum Drehen, Kippen, Verschieben und zum Fahren 2 Motoren à 45 PS.

Kohlenbergwerke: Förderhaspel und Schachtwinden 20—200 PS; Fördermaschinen 100—2000 PS, bei v = 0,5—20 m/Sek. und 500—5000 kg; Ventilatoren 50—300 PS; Wasserhaltungen 50—1000 PS; Koksausdrückmaschinen 50 PS; Hochofenaufzüge 20—50 PS; Gichtglockenaufzüge 10 PS; Schleudermühlen für Erz oder Kohle 1—40 PS bei ½—15 cbm/Stde.

Schmiedeventilator: 10 PS pro 10 Essen.

Gießereien: Rootsche Gebläse 2½—12 PS; Hochdruckventilatoren 5—45 PS für 1000—10000 kg Eisen pro Stunde; Sandstrahlgebläse 2—10 PS; für die ganze Gießerei ein 10—30 PS-Motor; Sandzubereitungsmaschinen (Kollergang, Schleudermühle, Mischmaschine) zusammen 10 PS; Kohlenstaubmühle 1 PS.

Pumpen: $PS = \frac{Q \cdot H}{75 \cdot 60 \cdot \eta} \cdot 1000$; Q = cbm Wasser pro Min., H Förderhöhe in m, $\eta = 0{,}30—0{,}85$.

Feuerspritze: 5—100 PS bei 300—5000 Liter/min.

Ventilatoren: $PS = \frac{Q \cdot h}{75\,\eta}$. Q = Windmenge in cbm/Sek., h = Pressung in kg/qm oder in mm Wassersäule; $\eta = 0{,}3—0{,}7$.

Luftheizung benötigt Ventilatoren mit 30 PS pro cbm/min.

Spinnereien und Webereien:

Flachs: Brechmaschine ¾—1½ PS; Schwingmaschine pro Stand 0,1 PS (8 Stände); doppelte Hechelmaschine 0,6 PS. Spinnerei: Anlegemaschine 0,8 PS; 1. und 2. Durchzug 1—1,2 PS; Vorspinnmaschine 2—3 PS (100 Spindeln), Feinspinnmaschine 2,7 PS (100 Spindeln), Krempel 2—2,5 PS für Werg.

Baumwolle. Spinnerei: Egreniermaschine 0,3 PS; Wolf oder Oeffner 3 bis 5 PS; Schlagmaschine 6 PS; Krempel 0,5 PS; Strecken 0,1—0,2 PS; Vorspinnmaschine (Flyer) 0,1—0,2 PS pro 100 Spindeln bei 10000 Umdrehungen, meist 0,3—1,5 PS total; Feinspinnmaschine 1 PS für 100—200 Spindeln. Für eine ganze Spinnerei rechnet man für 100 Spindeln 1,2—2 PS (samt Hilfsmaschinen). Weberei: Spulmaschine 0,2 PS; Scher- oder Zettelmaschine 0,2 PS; Schlichtmaschine 0,7 PS; Webstuhl 0,2 (bis 1,0) PS.

Wolle: Schlagwolf 1 PS; Wollspülmaschine 1 PS; Wollwaschmaschine 6 bis 8 PS (Exhauster 0,5 PS); Klettenwolf 2 PS; Reiß- und Flügelwolf 1 PS; Kammgarnkrempel 1 PS; Vorspinnkrempel 2 PS; Kammmaschine 0,3 PS; Plättmaschine 1,5 PS; Selfaktor (Feinspinnmaschine) pro 150—200 Spindeln 1 PS.

Tuchweberei: Ketten-, Leim- und Schermaschine 0,1 PS; Kettentrockenmaschine 0,15 PS; Webstuhl 0,2 PS; Walke 2 PS; Tuchwaschmaschine 0,5 PS; Rauh-

Digitized by Google

maschine 0,6 PS; Rauhmaschine 1,5—3.5 PS; Schermaschine 0,5 PS; Bürstmaschine 1 PS.

Färberei und Zeugdruck: Indigomühle 0,6 PS; Waschrad oder Waschmaschine 2 PS; Stampfkalander 1,5 PS; Mangel 0,5 PS; Zentrifugaltrockenmaschine 2—3 PS; Walzendruckmaschine 2—8 PS; Perrotine 1 PS; Kalander 1—3 PS; Stärke- und Appretiermaschine 1,5 PS.

Spinnerei: Pro KW kann man etwa 80 Spindeln (Baumwolle, Spindeln mit 9000 Touren) betreiben, allgemein 50—100. Nach Woodhouse pro 1 PS: 62 Spindeln einer Ringspinnmaschine, 45 Spindeln einer Kammgarnspinnmaschine und 75 Spindeln eines Selfaktors.

Der Belastungsfaktor $= \frac{\text{tatsächliche KW-Stunden}}{\text{max. KW-Verbrauch} \times \text{Betriebsstunden}}$ ist für einen Selfaktor ca. 60 %, ebensoviel für eine Walke und ca. 45 % für eine Mullspinnmaschine.

Weberei: Ein kleiner Seidenwebstuhl braucht 1/4 PS; ein Jacquardseidenwebstuhl 1/2 PS; ein Baumwollwebstuhl 1/4 PS; ein Wollwebstuhl 0,3—0,4 PS; ein Leinwandwebstuhl 1/2—1 PS.

Die Gesamtleistung einer Spinnerei liegt zwischen 100 und 5000 PS (meist 200—500 PS).

Beispiel für eine Baumwollspinnerei nach Thomas (Z. f. E., Wien 1905, S. 150): Die Fabrik verfügte über 24 Motoren von 1—20 PS, je einen Motor von 30, 50 und 75 PS und 20 Motoren für je 150 PS, im ganzen also Motoren für 3175 PS (550 Volt Drehstrom, 40 Perioden). Die Belastung war mit 2600 PS bemessen; es waren jedoch zum Antrieb der Motoren und der Transmission noch 552 PS oder 21 1/4 % erforderlich. Spinnmaschinen für Kettengarn zu je 10000 Spindeln waren von einem Motor angetrieben; auf die Pferdekraft entfielen 66, bezw. 80 Spindeln, je nachdem man der Berechnung die Leistung an der Motorwelle oder an der Maschinenwelle zu Grunde legt. Die Transmissionsverluste betragen demnach 18 %. Bei den Spinnmaschinen für Schußgarn waren die bezüglichen Zahlen 76,4 und 98,8 Spindeln pro 1 PS oder 26 % Verluste. Auf 1 PS entfielen im Mittel 3,62, bezw. 4,87 Webstühle.

Der Kraftbedarf verteilt sich auf die einzelnen Abteilungen der Fabrik in folgender Weise:

Wolferei	130	PS	oder	5,13 %
Karden und Vorspinnmaschinen	351,25	„	„	14 „
Spinnmaschinen	1363,7	„	„	53,9 „
Schlichterei	26,06	„	„	1 „
Weberei	637	„	„	25,17 „
Tuchscheren	19,5	„	„	8 „

Brauerei: Flaschenspülmaschine, Faßrolle zum Auspichen, Malzwender je 0,2—0,4 PS; Faßwaschmaschine, Rührwerk je 1—1,5 PS; Malztrommel, Bierkühlexhaustor, Maischwerk, Malzputzer je 2—3 PS; Schrotmühle, Malztransport, Gerstenputzer samt Elevator je 4—4,5 PS. Ganze Brauerei 20—50 PS.

Druckerei: Buchdruckerpressen 1/2—4 PS; Rotationsmaschinen 5—15 PS; ganze Druckerei 3—100 PS.

Papierfabrik: Haderndrescher und Hadernschneider 2—5 PS; Drehen des Kochers 1—2 PS; Hadernstäuber 2 PS; Stoffreißer, Kollergang 4—8 PS; Wasch-

Digitized by Google

holländer 3—5 PS; Halbzeugholländer 15—35 PS; Ganzzeugholländer 8 PS; Papiermaschine 5—70 PS; Kalander 15—30 PS. Holzstoff: Zerfaserungsmaschine 60 PS; Hackmaschine für Zellulose, Schälmaschinen und Kreissäge 60 PS.

Zuckerfabrik: Zentrifugen 3—7 PS (Anlauf das dreifache); Siedmaische, Trockentrommel, Brechwerk je 2—3 PS; Rührwerk, Auflösepfanne $^1/_2$ PS.

Nudelfabrik: Nudelpresse 1—2 PS; Misch- und Knetmaschinen $^1/_4$—$^3/_4$ PS.

Kaffee: Kaffeeschälmaschine 1—$1^1/_2$ PS; Kaffeebrennmaschine $1^1/_2$ PS.

Fleischer: Fleischschneidmaschine 1—5 PS; Wiegeapparat, Mengmaschine, Knochensäge, Gewürzmühle je $^1/_4$—1 PS. Eine ganze Fleischerei ca. 5—7 PS.

Bäcker: Knetmaschinen $^1/_2$—5 PS bei 200—800 kg Teig, Backofen 8—15 KW. Mischmaschinen (Pulver, Brei, Farben) $^1/_2$—5 PS bei 200—1000 Liter Inhalt.

Verschiedene Gewerbe: Messerschmied $^1/_2$—1 PS; Hosenträger 5 PS; Seifensieder 3 PS; Bonbonfabrik 5 PS; Kartonage 2 PS; Kratzenfabrik 3 PS; Schuhfabrik 4—7 PS; Optiker und Feinmechaniker 1—2 PS; Zahnarzt $^1/_{20}$—$^1/_2$ PS; Spital (Ventilatoren, Röntgenapparat etc.) 1—5 PS; Malzfabrik 20 PS; Buchbinder $^1/_2$ PS; Sodawasserfabrik 1—2 PS; Wäscherei 2—15 PS; Korkschneidemaschine $^1/_2$ PS.

Ziegelei: Tonvorschneider 6—10 PS; Ziegelpresse 4—20 PS.

Landwirtschaft: Dreschmaschinen 5—25 PS; Häckselschneidmaschinen $^1/_2$ bis 5 PS; Mahl- und Schrotmühlen 2—12 PS; Pflüge 15—20 PS und 40—100 KW/Stden pro Hektar. Molkerei 20—30 PS; Butterknetmaschine $^1/_2$ PS; Butterfaß 4 PS; Milchseparator 1 PS; außerdem noch verschiedene kleine landwirtschaftliche Maschinen von $^1/_2$—1 PS.

Mühlen: Mahlgang (Mühlstein) 4—7 PS (Getreide oder Gips); Schrotwalzenstuhl 2—18 PS pro Walzenpaar; Zentrifugalsichtmaschine 4 PS und <; Plansichter $^1/_4$ PS; Graupengang 4—6 PS; Mörtelmaschinen $^1/_2$—2,5 PS für 2—6 cbm/Stden; Betonkollergänge 3—10 PS bei $1^1/_2$—3 cbm/Stden; Kollergänge $^1/_2$—12 PS bei 25 bis 3000 kg/Stden.

Torfpressen: 20—40 PS; Steinbrecher 3—15 PS.

Tonröhrenpressen: 5—8 PS.

Gesteinsbohrmaschinen: 1—3 PS.

Zimmerventilatoren:

cbm Luft/Min.	25	100	1000	5000	⎫	Pressung 15—125 mm
PS	$^1/_{20}$	0,4	3	16	⎭	Wassersäule.

Sie müssen pro Stunde die Luft des betreffenden Raumes 2—15mal erneuern.

Nähmaschinen $^1/_{30}$—$^1/_5$ PS; Klavierantrieb $^1/_{10}$ PS; Orgelantrieb $^1/_{10}$—$^1/_4$ PS.

Eismaschinen: kg Eis/Stden	20	300	2500
PS	2,5	6	40.

Hotels: 10—100 PS für Aufzüge, Ventilatoren, Luftpumpen (Bier), Wäscherei, Sodawasserherstellung.

Warenhäuser: 50—3000 PS an Aufzügen etc.

Theater: Größere Anzahl Ventilatoren $^1/_{10}$—1 PS, Aufzüge, Theaterhebe- und Drehvorrichtungen mit Motoren von 5—20 PS; totale elektrische Energie eines Theaters 50—300 KW.

Bahnhöfe: Beleuchtung und Motoren 100—1000 KW.

Digitized by Google

d) Heiz- und Kochapparate.

Kochtöpfe 0,3—30 Liter: 300—3500 Watt, d. h. pro Liter 150—500 Watt; 1 Liter Wasser oder Tee von 10—20° C. braucht zum Sieden ca. 100 Wattstden, ohne Verdampfungswärme.

Pro Familie von vier Köpfen kann man für die Zubereitung der drei Mahlzeiten auf 3 KW-Stden pro Tag rechnen, bei acht Personen auf 4,5—5 KW-Stden; es erfordern 4 Bratwürste 100 Wattstden, 3 Kotelettes 200 Wattstden, 1,5 kg Rindsbraten 500 Wattstden, 1,5 kg Rindfleisch mit 6 Liter Wasser 1800 Wattstden (nach W. Krejza, Z. f. E., Wien 1904).

Bügeleisen: 400—600 Watt, Brennschere 200 Watt.

Oefen für 20—150 cbm: 600—6000 Watt, pro Kubikmeter etwa 30—50 Watt zum Anheizen, 10—20 Watt zum Warmhalten.

Badeofen: 5—10 KW (20—30 Min.), Glühlichtbad 3—5 KW, Backofen 8—10 KW für 40 Stück Laibe zu 2 kg und 1¼ Stden Backzeit bei Dauerbetrieb; bei 8—12 Stden Betrieb 15—18 KW.

Elektrisches Schweißen:

1,5—10 KW für Rundeisen von 5—20 mm Φ } pro qcm Schweißfläche 2—4 KW
5—60 KW für Eisenrohre von 15—80 mm Φ } je während 10—100 Sek.

e) Elektrolytische und metallurgische Zwecke:

Karbid pro kg	7 PS-Stden oder 4—5 KW-Stden,	
Eisen aus Erzen pro kg	3 PS-Stden	60—80 Volt,
Stahl aus Alteisen pro kg	1,5—2,5 PS-Stden	
Karborundum pro kg	9 KW-Stden,	
Aluminium pro kg	30 PS-Stden,	
Nernstsche Soda pro kg	3 KW-Stden (5 Volt),	
$KClO_3$ oder $NaClO_3$ pro kg	15 PS-Stden,	
Ozon 20—180 g (3 g pro cbm Luft)	1 PS-Stde,	
500 cbm Wasser pro Stunde ozonisiert	1 PS-Stde,	
Elektrolyseur (Bleichapparat)	cbm Bleichflüssigkeit/10 Stden : 1 10, KW : 2 20.	
Kupfer raffinieren pro kg	0,45 KW-Stden (0,50 Volt),	
1 kg Chlor	5—7 KW-Stden,	
1 kg Natrium	8 PS-Stden,	
1 kg 75%ige Salpetersäure	20 PS-Stden,	
1 cbm Sauerstoff	10—20 KW-Stden.	

f) Uebersicht. In Berlin verteilen sich die Stromabnehmer in folgender Weise:

Läden	31% der Gesamtenergie,
Banken	18% „
Wohnungen	17% „
Theater	9% „
Restaurants	9% „
Gewerbe	6% „
Hotels	4% „
Diverses	5% „
Straßen	1% „
	100%

Digitized by Google

Pro Kilometer Straßenfront kann man folgende Anschlüsse erwarten:

Hauptstraßen mit Läden, Hotels, Theatern	20—100 KW,
Straßen mit Wohnhäusern	2—5 „
Nebenstraßen	0,5—2 „

oder pro Fassadenmeter (Berlin):

1 Lampe zu 16 NK in Hauptstraßen,
½ „ „ 16 „ „ Nebenstraßen.

g) Für größere Kriegsschiffe[1]) sind erforderlich (Spannung 80—110 Volt):

α) 500—2000 Glühlampen zu 16 und 32 NK und einige zu 150 NK,
einige Tauchlampen zu 100 NK,
4—6 Scheinwerfer (20—50 KW) mit elektrischer und mit Handbedienung für 50—120 Amp., 5—10 Bogenlampen zu 5—10 Amp.,
Signallampen.

β) Kapselmotoren mit mäßiger Tourenzahl (PS-Angaben pro Motor):

für die Drehung von Geschütztürmen, d. h. für die Schwenkwerke (20—50 PS pro Doppelturm; für leichte Artillerie 2—10 PS),
für das Laden, Ausblasen und Richten der Kanonen (0,5—5 PS),
für Munitionsaufzüge (3—30 PS, 20—50 Stück),
für Munitionswinden (2—4 PS),
für Bootskrane (20—50 PS),
für Deckwinden (25 PS),
für Kohlenwinden (10 PS), Materialaufzüge (3 PS),
für Werkzeugmaschinen (1—10 PS),
für Eismaschinen (7 PS),
für Ventilatoren (0,2—5 PS; 20—60 Stück),
für Bilgepumpen (20—100 PS; 6 Stück), 3 Trinkwasserpumpen (2 PS),
für 1 Spill (50 PS),
für Aschenabfuhr (5 PS, 8 Stück),
für Unterwassertorpedos (20 PS),
für das Steuerruder (50—100 PS),
zum Abschluß der wasserdichten Abteilungen (2—5 PS),
Wasch- und Teigknetmaschinen (2—5 PS).
Die Motoren können insgesamt 40—70 Stück mit 500—1000 PS repräsentieren.

γ) Schiffstelegraphen und Alarmsignale, Geschwindigkeitsmesser.

δ) Primäranlage: 2—10 Dampfdynamos für 30—100 KW (400—300 Touren), neuerdings auch Turbodynamos. Pro 1 t Wasserverdrängung 30—60 Watt Dynamoleistung oder 50—80 Watt Anschlußleistung.

Gewicht pro PS an Motoren 40—60 kg; pro KW Dampfdynamo 100—150 kg.

Größere Personendampfer haben 500—2500 Glühlampen zu 10—32 NK und 5—50 Motoren für Ventilatoren, Aufzüge, Krane, Kühlmaschinen etc., ferner 20 bis 150 elektrische Oefen für je 0,3—2 KW. Siehe auch Anhang zu Teil II.

Unter den Lampen sind auch wasserdichte Konstruktionen.

[1]) Siehe Z. V. D. I. 1904, S. 359, sowie diesen Band „Anhang".

Digitized by Google

Die Größe der Motoren ist folgende:

Proviant- und Postaufzug .	3 PS (2—4 Stück),
Kleine Laufkatzen	3 PS (2—5 Stück),
Ventilatoren	0,3—3 PS (10—40 Stück),
Ein großer Ventilator . .	10—15 PS,
Deckwinden	5—20 PS,
Kohlenwinden	10—20 PS (Doppelwinden das Doppelte),
Deckkrane (Drehkrane),	je ein Motor zu 20—30 PS und zu 5—10 PS.

h) Bei Ermittlung der Maximalleistung der Zentrale ist zu beachten, daß maximal gleichzeitig eingeschaltet sind:

30—50 % der installierten Lampen (extrem 20—95 %);

50—70 % der installierten Motoren mit Volllast, d. h. 100 % der Motoren mit $^1/_2$—$^3/_4$ Last. In extremen Fällen sind nur 30 % der vollen PS, in andern 90—100 % der vollen PS einzusetzen; oder

30—70 % (Mittel 30—40 %) der totalen installierten KW (extrem 20—100 %).

Am Tage des Höchstverbrauches wird jedes angeschlossene KW 1,5—6 (ausnahmsweise 10) Stunden benützt (Mittel etwa 3). Das Verhältnis

$$\frac{\text{maximal vorkommende KW-Abgabe im Netz}}{\text{Leistungsfähigkeit der Zentrale samt Akkumulatoren}} = 0{,}3—1 \text{ (meist } 0{,}7—0{,}9).$$

Die mittlere Leistung der Zentrale ist häufig nur $^1/_{10}$—$^1/_5$ der maximalen, was durch Aufstellung von Akkumulatoren wesentlich verbessert wird. Setzt man ununterbrochenen Betrieb der Zentrale voraus, so sind die mittleren abgegebenen KW = 5—10 % der installierten KW und $7^1/_2$—15 % der maximal in der Zentrale verfügbaren KW.

Sind A die maximal gleichzeitig benützten KW an den Stromverbrauchern, so sind in der Zentrale aufzustellen $A_1 = \frac{A}{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4}$ KW und noch 10—30 % Reserve.

$\eta_1 = \sim 0{,}92—0{,}88$ (0,70—0,98) Wirkungsgrad des Netzes oder der Leitungen,

η_2 = Wirkungsgrad der Umformer und Transformatoren = 0,65—0,98,

$\eta_3 = \sim 0{,}95—0{,}99$ Wirkungsgrad der Schaltanlage,

η_4 = Wirkungsgrad der Akkumulatoren $= \sim 0{,}75$,

da aber meist nur $^1/_3$ der Energie durch die Akkumulatoren geht, η_4 häufig $= \sim 0{,}93$ bis 0,87 (0,75—0,98). $\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 = 65—85$ % (Mittel 70—75 %).

A_1 teile man in 70 % Maschinen und 30 % Batterie. Die effektiven $PS_e = \frac{KW}{0{,}660}$, die indizierten $PS_i = \sim 1{,}2\ PS_e$.

Ausgeführte Anlagen zeigen ein Verhältnis: $\frac{\text{Nutzbar abgegebene}}{\text{Erzeugte}}$ Wattstden = 50—85 % (Mittel 70—80 %).

Der Belastungsfaktor $\frac{\text{abgegebene}}{\text{installierte}}$ KW für die Zentrale ist im Mittel 30—70 %.

Das Verhältnis $\frac{\text{installierte KW}}{\text{gesamte Zentralenleistung in KW}}$ ist 0,8—1,4, meist 0,9—1,1.

Digitized by Google

2. Totale Anlagekosten

pro KW aufgestellter Maschinen inkl. Reserve und Akkumulatoren.

Für Anlagen über 100 KW ist: 1 KW = 1,5 PS_e = 1,75 PS_i; 1 PS_e = 1,2 PS_i.

Betriebskraft	Preis pro KW in Mark				
	KW	Zentrale[1]) ohne Baulichkeiten	Zentrale samt Gebäude und allem Zubehör	Zentrale samt Unterstationen, städtischem Netz oder Fernleitung	
Dampfmaschinen . . (oder Lokomobilen bis 200 KW)	2—5	1500—500	2500—700	—	
	50—100	1200—300	1500—400	2000—700	
	500—5000	700—150	1200—200	1700—500	
allgemein	100-50 000	1400—200	1800—800	2500—500	
		Mittel	Mittel	Mittel	
		400—500	500—600	1000—1400	
				ausnahmsweise bis 3000	
Dampfturbinen . . .	von 1000 KW aufwärts	600—150	1000—200	—	
Gasmotoren	2—5	1800—600	2000—800	—	Kleine Leuchtgasanlagen bis 200 PS sind etwas billiger als Sauggasanlagen.
(Gas, Petroleum etc.,	30—100	1200—350	1500—500	2000—1000	
eigene Erzeugung)	200—1000	1000—200	1400—300	2000—800	
Wasserkraft samt hydraulischem Teil in der 4. und 5. Spalte:					
allgemein. . . .	50—10000	500—75 nur Maschinen	2400—100 (Mittel 500)	3000—600 (Mittel 1000)	
hohes Gefälle . .	100000	—	500—80 (Mittel 240: Niagara)	—	
samt Dampfreserve	—	—	—	3500—1000	
Talsperre[2])	500	—	1000–4000	—	
	5000	—	100—1000	—	
Windmotor samt Batterie	300	—	250	—	

[1]) Nur maschineller Teil.

[2]) Pro cbm Fassungsraum rechne man 3—20 Pf. Anlagekosten. Bachsperren kosten pro PS 5000—50000 Mk. (total 0,3—2,4 Millionen Mk.), Flußsperren nur 100—1200 Mk. pro PS (total 1—5 Millionen Mark).

Digitized by Google

Nach O. v. Miller ergeben sich folgende Kosten für Wasserkräfte (Z. V. D. I. 1903, S. 1006).

	Kleine Leistungen		Mittlere Leistungen		Große Leistungen			
	Mäßige Relativgefälle Kleine absolute Gefälle		Günstige Relativgefälle Mittlere absolute Gefälle Ausnutzung verschieden großer Wassermengen		Mäßige Relativgefälle Konzentrierung des Gefälles		Sehr günstige Relativgefälle Große absolute Gefälle	
					a) mittels Kanales	b) durch Aufstau im Flusse selbst		
	Saale bei Dorndorf	Amper bei Dachau	Mangfall bei Darching	Mangfall bei Rosenheim	Kl. Rhein bei Straßburg	Isar bei Landshut	Sill bei Matrei	Wattensbach bei Wattens
Gefälle	1,5 m	2 m	3 m	3,4 m	4,8 m	3,5 m	80 m	300 m
Sekundliche Wassermenge	16 cbm	12 cbm	8 cbm	16 cbm	85 cbm	120 cbm	7,5 cbm	3 cbm
Leistung	240 PS_e	240 PS_e	240 PS_e	540 PS_e	4000 PS_e	4000 PS_e	6000 PS_e	9000 PS_e
	pro PS_e Mk.	pro PS_e Mk.	pro PS_e Mk.	pro PS_e Mk.	pro PS_e Mk.	pro PS_e Mk.	pro PS_e Mk.	pro PS_e Mk.
Vorarbeiten, Wasserrechte, Grunderwerb ausschließl. der vorhandenen Bauten	100	75	67	55	20	15	5	9
Wehr- u. Kanalanlage einschließl. Rechen, Schützen, Behälter, Druckleitungen, Wege u. Zufahrtstraßen und einschließl. der vorhandenen Bauten . . .	460	375	333	280	300	125	141	134
Turbinenanlage, Turbinenhaus mit Laufkran, Turbinen mit Regulatoren, Werkstatteinrichtung .	440	350	250	185	105	185	54	37
Gesamtbausumme .	1000	800	650	520	425	325	200	180

Digitized by Google

Das Mittel aus dem Anlagekapital einer Reihe englischer Zentralen samt Netz ist 1500—2300 Mk. pro KW, für alle amerikanischen Zentralen ist das mittlere Anlagekapital pro PS_e 1300 Mk. bei 400 PS_e mittlerer Leistung; das Mittel aus 30 Zentralen für Städte über 500000 Einwohner beträgt 1800 Mk. pro PS_e. Für französische Wasserkräfte sind die Anlagekosten pro elektrische Pferdekraft 90 bis 650 Mk. Eine Wasserkraft sollte bis zum Verteilungsnetz weniger als 1200 Mk. pro KW kosten, sonst kann sie sich nicht mit Dampf messen. Einen guten Anhaltspunkt für die Kosten der Zentrale gibt folgende Tabelle:

KW :	500	1000	2000	4000	10000
Mk./KW :	950	750	650	520	450.

Eine Blockstation mit Spiritusmotor für Wohnhäuser kostet bei 2—10 KW etwa 1000 Mk. pro KW, die gesamte Einrichtung im Hause eingerechnet, d. h. bei 100 Lampen, 4000—5000 Mk.

3. Anlagekosten im Einzelnen.

a) Grundstückerwerb pro qm in Mark 5—20 (mittel), 1—500 (extrem).

Einwohner		10000	100000	1000000
Grundstückerwerb pro qm	im Zentrum	30	120	400 Mk.
	in Nebenteilen	7	35	100 „
	außerhalb	2	7	18 „

Ganz unkultiviertes Land weit entfernt von Städten 0,02—0,2 Mk. pro qm.

b) Gebäude:

	Mark pro qm Bodenfläche	Mark pro cbm	
Maschinenhaus und Turbinenhäuser	35—100 (150)	5—15	cbm umbauten Raums
Kesselhaus	30—50	—	
Werkstätten, einstockig	40	—	
„ zweistockig	60—80	—	
Wohnhäuser, mehrstöckige Maschinenhäuser für Schaltanlagen und Akkumulatoren	80—200	10—15	
Wagenhallen und Schuppen	20—50	3—10	
Mauerwerk	—	10—25	cbm Maße
Mauerwerk für Schornsteine	—	25—50	
Fundamente	—	10—20	
Beton	—	20—30	
Kalkstein	—	200—400	
Mauerwerk (Aufbau) samt Verputz	20—30 [1])	—	
Fußböden (Holz)	2—3	—	
Fußböden für Maschinenhäuser	10—150 (elegant)	—	
Trottoirs	4	—	
Pflaster	0,8—3	—	

[1]) Pro qm Wandfläche.

Digitized by Google

Höhe des Maschinenhauses: Mauerhöhe 3—12 m; total 5—18 m.
Höhe des Kesselhauses: Mauerhöhe 4—9 m; total 6—12 m.
Beide sind unterkellert auf: 2,5—4,0 m; Fundamenttiefe 3—10 m.
Höhe des Turbinenhauses: Mauerhöhe 4—8 m; total 5—12 m.
Höhe der Wagenhallen 4—15 m.
Höhe der Akkumulatorenräume 2,5—3,5 m.
Höhe des Schalthauses 3—6 m.
Höhe der Kohlenschuppen 5—9 m.

Turbinenhäuser sind 5—20 m unter dem Maschinenhausboden aufbetoniert, bei horizontaler Welle kann allerdings ein Betonaufbau von 1—2 m Tiefe genügen.

Die Mauerstärke im Kellergeschoß ist 51—90 cm, im Erdgeschoß 38—77 cm und im Dachgeschoß 25—38 cm, Ziegelsteine vorausgesetzt.

c) Zubehör zu den Baulichkeiten:

Brunnen:	Durchmesser . .	1 m	3 m
	Tiefe	5 „	15 „
	Mark	700	8000

Straßenbrücken: Eisen . . . 80 Mk. pro qm; Holz . . . 30 „ „ „

Straßen pro m Breite und km Länge 2000—6000 Mk. (7—12 m Breite)

Treppen (Preis pro Stufe) | Höhe pro Stufe 20—32 cm: 10—15 Mk. (Wendeltreppe); 25—50 „ (Eisen); 3—20 „ (Holz)

Fuhrwerkwage 600—800 Mk.

Waggonwage 1500—3500 Mk.

Fabrikuhr 400 Mk.

Heizanlage für cbm . . .	400	3000	Montage 30—50%
„ Mk. pro cbm .	2—5	1—3	Zuschlag

Zulässige Belastung: Ziegelmauerwerk . . . . . 7 kg pro qcm; „ mit Zementmörtel 11 „ „ „; Kalkstein und Sandstein . . 15—30 „ „ „

d) Für die gesamte maschinelle Einrichtung der Zentrale inkl. Schaltanlage rechnet man pro KW:

Bei Dampf (Kessel, Maschinen, Dynamos, Apparate) allgemein 150—600 Mk., exkl. elektrischem Teil 100—500 Mk. (Mittel 250).

Bei Schnellläufern und Turbinen 150—250 Mk.
Bei geringer Tourenzahl 200—350 Mk. } exkl. Dynamos.

Bei Gas (Gaserzeuger, Maschinen, Dynamos, Apparate) 250—700 Mk., exkl. elektrischem Teil 150—600 Mk. (Mittel 300).

Bei Wasserturbinen 100—500 Mk., exkl. elektrischem Teil 60—400 Mk. (Mittel 150).

Meist kostet die gesamte maschinelle Einrichtung exkl. Akkumulatoren 300 bis 700 Mk. pro PS_e.

PS	10	100	
Baulichkeiten	300	100	Mark pro PS_e (Dampfanlage ohne elektrischen Teil)
Maschineller Teil	600	300	

Digitized by Google

Anlagekosten für Dampfmaschinen samt Kessel und Zubehör (ohne Dynamos) = 1,1—1,3mal so hoch wie die einer gleich starken Anlage mit Gichtgasmotoren.

e) Elektrischer Teil exkl. Maschinen:

Auf Akkumulatoren und Transformatoren entfallen pro KW gesamter Zentralenleistung 50—400 Mk.; auf die Schaltanlage 20—100 Mk. pro KW; auf das städtische Netz 400—1200 Mk.; für Zähler 10—200 Mk.; für Zubehör der Zentrale (Laufkran, Werkzeug, Beleuchtung etc.) 20—150 Mk.; für die gesamten Fundamente (Kessel und Maschinen) 50 Mk. pro KW; pro KW Akkumulatoren (dreistündige Entladung) rechne man 350—500 Mk., bei Pufferbatterien 250 Mk. (einstündige Entladung).

f) Maschinelle Einrichtung der Unterstationen:

	ohne Gebäude pro KW	mit Gebäude pro KW
a) Rotierende Umformer . (Einanker- oder Doppelmaschinen)	40—100 Mk.	70—300 Mk. (Mittel 150)
b) Transformatoren . . .	15—30 Mk.	20—50 Mk.

Akkumulatoren sind gesondert zu veranschlagen.

Amerikanische Unterstation, Preise pro KW:

Maschinen . . . . 150 Mk.
Gebäude . . . . . 20 „ } pro KW Stationsleistung (Umformer),
Batterie . . . . . 340 „ }
Zusatzmaschine . . 130 „ pro KW der Maschine selbst.

g) Pro maximal abgegebenem KW [1]) stellen sich die Anlagekosten (total Zentrale und Netz) auf 1000—5000 (Mittel 3000—3500) Mk., pro installiertes KW auf 1000—1500 Mk.

Pro 10000 Einwohner sind an Anlagekosten total 100000—600000 Mk., meist 200000—400000 Mk. erforderlich.

h) Pro KW Zentralenleistung läßt sich rechnen:

Für den gesamten Grunderwerb 10—100 Mk. (meist 10—30 Mk., bei Wasserkräften, alles eingeschlossen [2]) 20—40 Mk.).

Nur Gebäude { für das Maschinenhaus 30—50 Mk. / „ „ Kesselhaus 20—100 Mk. / „ „ Turbinenhaus 25—70 Mk. } zusammen 40—150 Mk.

Für die hydraulische Anlage einer Wasserkraft (Wehre, Kanäle, Rohrleitungen, Weiher) 50—800 Mk.

[1]) D. h. $\frac{\text{Anlagekosten}}{\text{maximal gleichzeitig abgegebene KW}} = 1000—5000$ Mk.

[2]) Inkl. Wasserrechte.

Digitized by Google

Für weitere Baulichkeiten (Schuppen, Wohnungen) 5—50 Mk.

Für die Gebäude von Unterstationen mit rotierenden Maschinen 10—100 Mk. pro KW der Unterstation.

Zum Aufspeichern der Steinkohle ist pro Tonne erforderlich ein Raum von 1,2—1,5 cbm, pro Tonne Holz das 2—2½fache, pro Tonne Torf 1,5—3 cbm.

Für Grundstücke und Gebäude inkl. Fundamente:

Bei Dampfanlagen 50—400 Mk. pro KW (Mittel 180—320 Mk. pro PS_e).

Bei Gasanlagen 150—400 Mk. pro KW.

Bei Wasserturbinen (inkl. Wasserbauten) 250—1000 Mk. pro KW, bei sehr großen Anlagen event. nur 100 Mk.

Beim Aufbau eines Wehrs kann man auf 20—30 Mk. pro cbm Mauerwerk rechnen, für ein Wassertunnel rechne man pro km und pro qm Querschnitt mit 20000—50000 Mk., eiserne Rohrleitung berechne man aus der Wassermenge, Wassergeschwindigkeit und dem Druck, siehe bei Tourenzahl der Turbinen S. 491, pro kg Rohr 0,5—1 Mk.

Eine Talsperre samt Maschinenhaus kostet pro cbm aufgespeichertem Wasser bei 1—5 Mill. cbm Fassungsraum und 15—40 m Stau 0,01—3,5 Mk. (im Mittel 0,50 Mk.), die eigentliche Talsperre samt Grunderwerb macht dabei 60—90 % des Gesamtpreises aus. Pro cbm Mauerwerk sind 15—20 Mk. zu rechnen.

i) Beispiele der Anlagekosten im einzelnen:

Kleine Dampfanlage für ca. 100 KW:

	Mk. pro KW
Grundstück	30
Gebäude	280
Maschinen	330
Akkumulatoren	125
Leitungen	340
Zähler und Anschlüsse	130
Diverses	15
Summa	1250

Kleinere Gasanlagen:

	Mk. pro KW
Gebäude und Grunderwerb	250—700
Gaserzeuger und -motoren montiert	400—500
Elektrischer Teil samt Akkumulatoren	400—600 (20—50 % Akkum.)
Summa	1050—1800

Digitized by Google

Dampfanlagen im allgemeinen:

	Pro KW Zentralenleistung Mk.
Grunderwerb	20—100
Gebäude	80—120
Kessel und Ekonomiser	40—100
Pumpen und Rohrleitungen	12— 45
Dampfmaschinen	60—200
Dynamos	50—200
Schalttafel	10—100
Verpackung, Fracht und Montage	30
Leitungen (Netz)	100—500
Summa	400—1400

Kaminkühler 10 Mk. pro KW; Fundamente 40 Mk. pro KW; Laufkran, Beleuchtung etc. 50 Mk. pro KW.

Kleinere Anlagen ohne Gebäude:

PS_e	10	100	10	100
	Preis pro PS_e		Gewicht pro PS_e	
	Mk.	Mk.	kg	kg
Dampfmaschinenanlage für sich (ohne Kessel)	220	80	240	120
Dampfmaschine und Kessel und Zubehör	650	220	820	330
Lokomobile	660	300	400	340
Gasmotorenanlage für sich (ohne Gaserzeuger)	680	230	450	300
Elektrischer Teil	150	65	57	50
Elektromotorenanlage (Arbeitsübertragung)	220	80	100	60

Zentrale für 2000 KW Maximalleistung (Drehstrom, Gleichstrom und Akkumulatoren, letztere teilweise in Unterstationen, für 150000 Einwohner):

	Preis pro KW Mk.
Grundstück	30
Gebäude	350
Dampfkessel	40
Dampfmaschinen	60
Zentralkondensation	25
Rohrleitungen	20
Dynamo	45
Schaltanlagen	50
Akkumulatoren (20% der Energie)	50
Netz samt Transformatoren	600
Diverses	80
Summa	1350

Digitized by Google

Großes Kraftwerk (2000—20000 KW):

	Preis pro KW Zentralenleistung Mk.
Gebäude	65— 30
Fundamente	15— 5
Kessel	70— 30
Vorwärmer etc.	25— 15
Pumpen	5— 3
Rohrleitungen	50— 15
Kohlenschuppen und Kohlenhebezeuge	25— 8
Schornstein und Fuchs	10— 3
Aschenabfuhrvorrichtungen	7— 4
Dampfmaschinen	140— 80
Dynamos	90— 70
Schalttafel	20— 5
Diverses, Bodenbelag	10— 5
Leitungen in der Zentrale	25— 10
Summa	545—285 Mittel 400

Gasanlage für 150 KW:

	Mk. pro KW
Gebäude und Grund	180
Gasdynamo	400
Gaserzeuger	100
Rohrleitungen	50
Summa	730

Ein Bahnkraftwerk ist unter „Bahnen" gegeben, ferner siehe am Schluß des Kapitels „Betriebskosten".

Vergleich der Anlagekosten ohne Gebäude und ohne elektrischen Teil:

PS_e	10	100	1000
Mk. pro PS_e Gas	750	350	230
„ „ „ Dampf	750	350	200
„ „ „ Lokomobile	650	300	—

Die Gesamtanlagekosten der Hamburger Müllverbrennungsanlage für gegen 55000 Tonnen Unrat pro Jahr betragen ca. 500000 Mk. samt Dampfdynamos

Digitized by Google

für 260 PS. In Zürich betragen die Anlagekosten 560000 Mk. einschließl. einer Turbodynamo für 150 KW, davon Gebäude: 190000 Mk., Feuerungsanlage 170000 Mk., Dampfanlage samt Dynamo 80000 Mk.

Anlagekosten für eine 1000 PS-Anlage pro PS_e inkl. Kessel, elektrischem Teil, exkl. Gebäude:

Einzylinder-maschinen	Schnellläufer	mit	Kondensation	. . .	192 Mk.
		ohne		. . .	172 „
	geringe Tourenzahl	mit		. . .	232 „
		ohne		. . .	212 „
Zweizylinder-maschinen	Schnellläufer	mit	Kondensation	. . .	260 „
		ohne		. . .	224 „
	geringe Tourenzahl	mit		. . .	264 „
		ohne		. . .	228 „
Dreizylindermaschinen mit Kondensation	Schnellläufer			. . .	252 „
	geringe Touren			. . .	288 „

Wasserkraftanlage 250 KW (hohes Gefälle):

	Mk. pro KW	
Grunderwerb	200	
Wasserkraftanlage und Rohrleitung	1100	(3 km lange Leitung)
Gebäude	120	
Turbinen	50	
Elektrische Einrichtung	180	
Diverses	10	
Summa	1660	

Wasserkraftanlage Wangen mit zwei Zentralen, eine mit 210 PS (H = 7 m) und die andere mit 340 PS (H = 10 m):

Wasserankauf	160000	Mk.
Kanalanlagen samt 2 Betonwehren	260000	„
Liegenschaften	5000	„
Gebäude: 2 Maschinenhäuser mit 270 qm (total)	25000	„
Turbinen / Dynamos: Kegelräder und Riemen (5000 Volt)	400000 / 140000	„
Leitungen (290 km Draht zu 3,5 mm Durchmesser zur Fernleitung + städtisches Netz)	210000	„
Umformerstationen	120000	„
Telephon 48 km	7000	„
Total	967000	Mk.

4. Platzbedarf (Grundfläche) pro KW.

(Total in der Zentrale aufgestellte KW samt Reserve, ohne Akkumulatoren.)

a) Für die gesamte Zentrale (bei Dampf und Gas) 0,3—4 qm pro KW bei 1000 KW und mehr, äußerst 0,1—0,3 qm pro KW; 3—8 qm bei kleineren Zentralen;

Digitized by Google

bei Dampfturbinen genügen in großen Zentralen 0,1—0,4 qm; gewöhnlich wird aber wesentlich mehr Grundfläche für Erweiterung angekauft.

b) Maschinenhaus (Antriebsmotor mit Dynamo und bei Niederspannung auch die Schaltanlage):

	KW	qm pro KW	
Liegende Dampfmaschinen	5—30	4—1,5	(Riemen)
	100—500	1,0—0,7	(Riemen oder direkt)
	5000	0,4—0,25	
	50000	0,25—0,10	
Stehende Dampfmaschinen	1000—2000	0,5—0,2	
	50000	0,20—0,05	
Dampfturbinen	1000	0,10—0,05	
	50000	0,05—0,02	
Lokomobile (samt Kessel)	5	5	Maschinenhaus-
	20	2	höhe 3,5—5 m
	100	1	
Gas- und Petroleummotoren [1])	10—30	5—2	
	50—200	2—0,8	
	500—1000	0,6—0,3	
Turbinenhaus	unter 5000	1,5—0,2	(häufig ca. 0,3)
(hydraulisch)	über 10000	0,15—0,05	
	Niagaranlage	0,04	

Ist die Kondensation nicht unterhalb der Dampfmaschinen angeordnet, so schlägt man für sie noch ca. 20% des Maschinenhauses an Platz zu.

c) Kesselhaus inkl. Pumpenraum (qm pro KW total aufgestellt inkl. Reserve):

KW	qm pro KW
1	5
50	1
500	0,5—0,8
2000	0,2—0,4
50000	0,1—0,3

In sehr großen Anlagen kann man 0,05—0,1 qm pro PS_e rechnen.

Für die Gaserzeugungsräumlichkeiten kann man dieselben Zahlen wie für die Kesselhäuser benützen, bezw. 80% davon.

[1]) Ein Dieselmotor für 20 PS benötigt einen Raum von $4,5 \times 3,5 \times 4,7$ m samt allem Zubehör und Dynamo. — Bei Gasmotoren ist häufig: Maschinenhausfläche = Fläche des Gaserzeugungsraumes.

Digitized by Google

d) Zuschläge für:

Gradierwerk	0,1	qm pro KW	Zentralenleistung[1])
Ofenhaus f. Müllverbrennung	0,5—2	„ „ „	oder pro 100 t Müll für 24 Stden 100 qm (Ofenhaushöhe 4 m)
Kohlenschuppen etc. . .	0,05—0,2	„ „ „	
Hochspannungsschalthaus .	0,03—1	„ „ „	(meist 2—3stockig)
Werkstätten	0,01—0,05	„ „ „	
Bureau	0,05—0,1	„ „ „	(2—3stockig)
Wohnungen	0,05—0,3	„ „ „	„

Für Nebenräume in Turbinenanlagen schlage man 0,05—0,3 qm pro KW zu.

e) Akkumulatorenraum:

1 Etage { 1—3 qm Bodenfläche pro KW-Batterie auf 8 Stunden bezogen
0,3—1,5 „ „ „ „ „ „ 1 Stunde „

Bei 2 Etagen 0,5—1,5 qm, bei 3 Etagen 0,2—1,0 qm Grundfläche pro KW (8stündig).

f) Unterstationen:

{ Drehstrom-Gleichstrom 0,05—0,3 qm pro KW Umformer (Mittel 0,1)
Batterie siehe (e)
oder samt Batterie das Doppelte.

Stationäre Drehstromtransformatoren 0,03—0,1 qm pro KW je nach der Höhe der Spannung.

Unterstationen häufig einstockig, bei 3—6 m Höhe.

Transformatorenhäuschen aus Blech 4—6 m hoch, 1,4—2 m Durchmesser; Betonfundament.

5. Zahl der Einheiten; Tourenzahlen der Antriebsmaschinen.

A) Zahl der Einheiten:

PS (total) = 30	100	1000	10000	30000
Einheiten = 3 zu 15 PS	3 zu 50	3 zu 500	6 zu 2000	7 zu 5000 { Bei größeren Zentralen wählt man durchweg gleiche Einheiten von 5000—10000 PS
oder { 2 zu 15	{ 2 zu 60	{ 3 zu 400	{ 2 zu 4000	
{ 1 zu 10	{ 1 zu 30	{ 1 zu 200	{ 2 zu 2000	

Dampfmaschinen: Normalleistung = 0,7 × Maximalleistung.

Bei Gasmotoren muß sein: Maximalleistung = 1,4—1,6 × Normalleistung der Dampfmaschine.

B. Tourenzahlen. a) Dampfmaschinen:

	PS	5	20	100
Liegend einzylindrig	Touren	120—300	100—200	60—90

[1]) Bei 100 KW z. B. Länge × Breite × Höhe = 13,5 × 5,2 × 21 m, bei 5000 KW 22 × 15 × 28 m.

Digitized by Google

	PS	5	30	100
Stehend einzylindrig	Touren Mittel	1500—300 600	800—200 400	500—150 250

	PS	10	50	150	500	1000	5000
Liegend Compound und 3fach Expansion	Touren	—	100—200	75—150	75—125	75—107	75—93
Stehend Mehrzylinder	Touren	400—800	250—700	200—600	125—400	107—300	75—150

Für England gilt:

KW =	100	200	500	1000
u =	250—500	250—375	83—350	83—300

Siehe auch den Abschnitt Platzbedarf, Gewichte und Preise der Antriebmaschinen.

b) Dampfturbinen:

Lavalturbine.

PS_e	3	5	10	15	20	30	50	75	100	150	225	300
Tourenzahl des Laufrades	30000		24000	20000			16500		13000			
Tourenzahl der Vorgelegewelle	3000		2400	2000			1500	1250	1050		1000	750

Parsonsturbine.

KW	32	75	150	250	500	1000	1500	2000	5000
Touren	5000	4000	3500	3000	2500	1800	1500	1200	750—1000

$PS_e = \backsim 1{,}5 \,.\, KW.$

Die Tourenzahl ändert sich allerdings von Fall zu Fall immerhin um $\pm$ 30 %.

Curtisturbine.

KW	1 ¼	15	25	75	100	500	1500	2000	3000	5000
u	5000	4000	3600	2400	3600	1800	900—800	750	600	500—514

Digitized by Google

Oerlikonturbine System Rateau.

Leistung in KW	Umdrehung pro Minute ca.	Samt Dynamo		
		Größte Länge A in mm ca.	Größte Breite B in mm ca.	Größte Höhe über Boden in mm ca.
100	3000	5000	1100	900
200	3000	5500	1350	1100
300	3000	5900	1550	1250
400	3000	6300	1700	1350
500	3000	6500	1800	1450
600	3000	6700	1900	1520
800	1500	7000	2000	1600
1000	1500	7200	2100	1700
1250	1500	7800	2200	1780
1500	1500	8400	2300	1850
1750	1500	9000	2400	1930
2000	1500	9500	2500	2000
2500	1000	10500	2750	2200
3000	1000	11500	3000	2400
3500	1000	12500	3250	2600
4000	1000	13500	3500	2800

Elektraturbine.

(Angaben ohne Dynamo.)

Leistung PSe		Umdrehungen pro Minute	Dimensionen in mm						Gewicht kg	
			Fundament		Ganze Höhe mit	ohne	Größte			
norm.	max.		Länge	Breite	Grundplatte		Länge	Breite		
10	15	4000	700	900	850	700	750	700	275	15—17 kg pro PSe
30	40	3500	800	1100	1000	850	960	900	—	
50	60	3000	900	1250	1325	1125	1300	1150	900	
70	80	3000	1100	1400	1645	1400	1500	1300	—	
100	120	2500	1200	1700	1775	1500	1700	1450	1500	

A. E.-G.-Turbine.

Gleichstrom	KW	12	50	100	200	500
	Touren	4000	3500	3000	2300	1500

Digitized by Google

Drehstrom	KW	50—1000	1500—3000	3500—4000	4500—5000
	Touren	3000	1500	1000	750

2 KW mit 5000 Touren, 5 KW mit 4500 Touren (Gleichstrom).

Zöllyturbine.

KW	340	475	675	1000	1350	1700	2000	2600 u. mehr
Touren	3000	3000	1500	1500	1500	1500	1500	1200—1500

Hultmotoren (Maschinen mit rotierendem Kolben).

Type	Umdrehungen pro Minute normal	Umdrehungen pro Minute minimal	6 Atm. PS_e	10 Atm. PS_e	Preis Mk.	Gewicht ca. kg
D A H	1500	1200	3	5	1300	200
D A	1100	1000	5	8	1500	230
D B	1000	950	10	15	2000	300
D C D	850	800	20	30	3000	600
D E	750	700	30	45	4000	900
D E F	700	650	45	60	6000	1200
D F	625	575	60	75	6500	1500
D G	575	525	75	100	9100	2300
D H	500	450	100	140	11000	3000

Dampfverbrauch mit Kondensation 17—11 kg pro PS_e und Stunde, ohne Kondensation 26—12 kg pro PS_e und Stunde, bei Ueberhitzung 10—20% weniger.

Preis 260—80 Mk. pro PS_e, Gewicht 40—20 kg pro PS_e, Preis pro kg 6—4 Mk.

c) Gasmotoren (einschließl. Benzin-, Spiritus-, Petroleum und Dieselmotoren):

PS	1	5	10	50	100	500	1000
Touren	300—800	200—750	150—600	130—500	110—250	70—200	50—150
Mittel	450	300	250	200	150	130	120

Spiritusmotoren haben öfters die höchst angegebenen Tourenzahlen, während Gasmotoren selten den Mittelwert überschreiten.

Kraftgasmotoren (Hochofengasmotoren):

Touren	150	125	94—107	88
Einzylindrig PS	250—400	500—750	1000—1500	—
Zweizylindrig PS	500—800	1000—1500	2000—3000	6000

Digitized by Google

d) Wasserturbinen:

$$u = c \sqrt{\frac{h\sqrt{h}}{Q}},$$

u = Tourenzahl pro Minute, h = Gefälle in m, Q = cbm Wasser pro Sekunde, c = 40—70; den größeren Wert anstreben!

Steigerung der Tourenzahl durch Zerlegen in 2—4 Turbinenräder $\left(\frac{Q}{2}\text{ bis }\frac{Q}{4}\right)$.

$$PS = 10 \,.\, Q \,.\, h.$$

Möglichst stets horizontale Welle und direkte Kupplung, bis h = 10—15 allerdings häufig vertikale Welle. Bei kleinen Tourenzahlen von 20—50 konische Räder mit einer Uebersetzung 1 : 2—1 : 4. Wirkungsgrad der Turbinen 75—85 %.

Aeußerer Durchmesser des Turbinenrads $= k \sqrt{\frac{Q}{\sqrt{h}}}$, k = 1,1—1,6.

Wassergeschwindigkeit in Rohrleitungen 1—3 m pro Sekunde; in Kanälen 0,4—0,8 m pro Sekunde; in Beton- und Steinkanälen 1—2 m pro Sekunde; ebenso in Stollen.

e) Mittel zur Tourenreduktion:

Riemenübertragung bis 150 PS (500 PS), Uebersetzung 1 : 6 (kleine Leistungen) bis 1 : 2 (große Leistungen). Achsabstand 5—10 m. Riemengeschwindigkeit v = 5—25 m pro Sekunde, letzterer Wert bei großen Leistungen, über 20 PS meist v = 15—20 m. Wirkungsgrad 96—98 %, Tourenverlust 2—5 %. Pro 100 mm Riemenbreite lassen sich bei v = 10 m 7—12 PS übertragen, bei v = 25 m 15—30 PS.

Seilübertragung für 100—500 PS, Uebersetzung 1 : 2—1 : 3; Achsabstand 6—25 m, Seilgeschwindigkeit v = 10—25 m pro Sekunde (meist 20 m). Wirkungsgrad 90—96 %. Pro 100 mm Scheibenbreite überträgt man in der Regel 30—40 PS bei v = 20 m pro Sekunde.

Zahnräder (selten für Generatoren) Uebersetzung $<$ 1 : 5, (Teilkreisgeschwindigkeit 5—15 m pro Sekunde); Grissongetriebe bis 1 : 30; Schnecken 1 : 10—1 : 20 (Teilkreisgeschwindigkeit 2—10 m pro Sekunde). Wirkungsgrad der Zahnräder 91—98 %, der Schnecken 75—90 %. Pro 1 mm Zahnbreite überträgt man ca. 1 PS.

6. Platzbedarf der Antriebsmaschinen.

Aeußerster Umriß.

Zwischen zwei Maschinen ist ein Raum von 1,5—1 m frei zu lassen, gegen die Wand 1—2,5 m.

a) Dampfmaschinen (alle Maße ohne Kondensator)[1]:

[1]) Für diesen ist in der Regel unter der Dampfmaschine genügend Platz.

Digitized by Google

Liegende Dampfmaschinen (nach Uppenborns Kalender):

PS_e	Touren	2 Zylinder-Tandem			2 Zylinder nebeneinander			
		Breite b senkrecht zur Welle m	Länge l parallel zur Welle m	Höhe h über Boden m	b m	l m	h m	
50	150	5	2,4	1,9	—	—	—	
100	125	7	3,5	2,1	5	4.3	2,1	
500	85	9	4,5	3,6	7	5,5	3,6	
1000	85	13	5,5	3,6	13	8,5	3,6	3fach Expansionsmaschine
3000	82	—	—	—	16	9,5	3,8	3fach Expansionsmaschine

Stehende Dampfmaschinen:

PS_e	Touren	b m	l m	h m	
50	200	2,4	2,4	2,6	2 Zylinder
100	190	2,8	2,8	3.0	2 Zylinder
500	125	5,3	5,1	5,0	2 Zylinder
1000	100	6,5	5,8	7,2	2 Zylinder
3000	85	7,2	7,5	12,0	3 Zylinder

α) Liegend (durchweg mäßig langsamlaufend):

	PS_e	Breite b senkrecht zur Welle m	Länge l Achsrichtung m	Höhe h über dem Fußboden m	Grundfläche pro 100 PS qm	
Einzylindrig . .	10	1,8	1,2	1	22	Bei stehenden Regulatoren überragt dieser in der Regel die Maschine, er ist 2—3 m hoch. In l, nicht aber in b ist der Raum für ein Schwungrad oder eine Schwungraddynamo eingerechnet.
	100	5,2	3,2	1,5	16,5	
Zweizylindrig, Zylinder nebeneinander. Bei Tandemanordnung wird b das 1,3—1,5fache, l ungefähr das 0,8fache . . .	200	6,5	4,2	2	13,5	
	500	8	5	2,2	8,0	
	1000	10	6	2,5	6,0	
Vierzylindrig . .	1500	14(12,5)	7(8)	2,5	6,5	
	3000	16	10	3,3	5,3	

Digitized by Google

β) Stehend:

	PS.	Breite b senkrecht zur Welle m	Länge l Achsrichtung m	Höhe h über dem Fußboden m	Grundfläche pro 100 PS qm	
Einzylindrig . .	3	0,35	0,35—0,45	0,75—1,0	4,2—5,4	Ohne Schwungrad und ohne Dynamo
	10	0,55—0,75	0,55—1,2	1,0—1,2	3—9	
	25	0,85	1,0—1,5	1,1—1,4	3,4—5	
Mehrzylindrig (2—4): . . .	100	1,4	2,0—2,4	2,0—2,1	2,8—3,4	
Schnellläufer . .	1000	3	5,5	5,0	1,7	
Mäßige Touren .	1000	3,8	4,8	4,8	1,8	
	3000	4,0—6,5	8,5—11	6—10,5	1,1—2,4	1 enthält die Dynamo
Torpedoboot . .	3000	2,8	3,7	2,5	0,3	
Mäßige Touren .	5000	7,2	10,5	12—14	1,5	
Stehend-liegend .	8000	—	—	—	2,5	

Den Schwungraddurchmesser bestimmt man aus v = 20—40 m/Sek. und nach S. 497.

Weiter dürften folgende Angaben nützlich sein:

Stehende Maschinen.

KW/u	25/450	75/310	500/120	1000/110	1500/100	3000/75
Länge in mm . .	1850	2600	4500	6300	6700	7000
Breite „ „ . .	1150	1500	6700	7300	8500	9700
Höhe „ „ . .	1600	2400	—	—	—	—
Gewicht in kg . .	2700	7000	—	—	—	—
	mit Dynamo		ohne Dynamo			

Marinedampfdynamos (an Bord, bei 7—11 kg/c², stehend):

	KW	u	Gewicht pro KW	Größte Dimensionen Länge	Breite	Höhe
	2,5	800	160	810	510	760 mm
	8	550	140	1630	800	1270 „
	32	400	140	2570	1320	1980 „
	50	400	140	2790	1520	2160 „
	100	350	100	3180	1790	2410 „
(Nicht an Bord) .	400	—	—	6500	4000	3500 „

Digitized by Google

b) Dampfturbinen:

Lavalturbinen.

α) Dimensionen der Turbine allein.

PS_e/u	Äußere Länge mm	Äußere Breite mm	Äußere Höhe mm	Gewicht kg/PS_e
5/3000	700	385	640	30 (ohne Fundamentplatte)
30/2000	1070	640	850	20 (ohne Fundamentplatte)
300/750	2540	2000	1500	22 (mit Fundamentplatte)
	ohne Fundamentplatte			

β) Gesamte Dimensionen mit Turbogleichstromdynamo.

PS_e/u	Äußere Länge mm	Äußere Breite mm	Äußere Höhe mm	Gewicht kg/PS_e
5/3000	1387	445	640	80 einankrig
30/2000	2060	723	879	50 einankrig
30/2000	1896	946	919	60 zweiankrig
300/750	4433	2080	1530	35 zweiankrig bis 2 × 700 Volt

Bei Verwendung von Drehstromgeneratoren werden die Dimensionen nicht unwesentlich größer.

Parsonsturbine.

KW		100	200	500	750	1000	1300	3000	5000
Samt Dynamo	Länge in m	5,6	7,2	8,2	9,7	10	12	13,5	15
	Breite „ „	0,95	1,3	1,35	1,65	1,8	2,4	2,5	3,5—4
	Höhe „ „	—	—	2,2	—	2,4	3,0	—	4,5—3,6
Länge ohne Dynamo		3,1	4,0	5,2	5,4	5,9	6,5	8,0	8,5
Grundfläche pro 100 KW in qm samt Dynamo		5,3	4,7	2,2	2,1	1,8	2,2	1,1	1,1

Verhältnis der Grundfläche von Turbinen: Dampfmaschinen = 1 : 2,7—1,4.
Die Grundfläche pro PS_e sinkt von 0,016 m² bei 1000 PS auf 0,003 bei 11000 PS.
Pro Quadratmeter Maschinenhalle 22 KW Parsonsturbinen samt Dynamo.

Curtisturbine (vertikale Welle).

KW/u		500/1800	1500/900	2000/750	3000/600	5000/500
Samt Dynamo	Höhe in m	3,7	5,1	9,8	6,6	8,4
	Durchmesser in m	2,4	3,1	3,3	4,2	4,5
Grundfläche pro 100 KW qm		0,9	0,5	0,45	0,45	0,3

Digitized by Google

Grundfläche = 7 % derjenigen von Dampfmaschinen.
Weitere Maße von Turbinen finden sich unter (5) Tourenzahlen.

c) Gasmotoren.

Bis 100 oder 150 PS einzylindrig, dann bis gegen 700 PS zweizylindrig, darüber vierzylindrig.

α) liegend:

PS_e	Höhe m	Breite (senkrechte Welle) m	Länge m	Grundfläche pro 100 PS_e qm
20	2,1	2,3	3,3—4,5	38—50
80	2,3—3,0	2,6—3,5	4—5,6	13—30
200	—	3,5	6.6	12
		β) stehend:		
2	—	1,1	0,8	44
6	—	1,5	1,1	27
Diesel 200	—	2,6	3,8	5
Diesel 500	2,5	1,3	5	1,3
1500	8,2	5,0	11,6	3,8 (Naturgas)

γ) Sauggasanlagen samt Dynamo:

	PS_e	Motor und Dynamo Breite m	Motor und Dynamo Länge m	Sauggasanlage Breite × Länge m
	4	4,8	2,2	2,8 × 1,8
	50	7,5	4,2	4,6 × 3,0
	100	8,2	6,5	5,5 × 4,1
	300	11.3	8,0	8,5 × 6,0
Dieselmotor mit Dynamo und allem Zubehör .	200	3,6	5,5	

2000 PS-Gasanlage	Grundfläche	
4 Stück 500 PS-Gaserzeuger . .	2,7 × 4,5 m pro Stück	Totale Grundfläche 31 × 11 m.
2 „ vertikale Kessel je für 2 Gaserzeuger	1,5 × 7 „ „ „	
2 Gasometer je 270 cbm	8,5 m Durchmesser	Zusammen 36 × 24 m, Zubehör inbegriffen.
Skrubber und Wasserkühlturm .	24 × 10 m	
8 Stück Zweizylindergasdynamo zu 250 PS je 6 × 6 m	6.5 × 56 m total.	

Digitized by Google

δ) Großgasmotoren (liegend) samt Schwungrad:

PS_e	Länge m	Breite m	Gewicht t	Firma
120	3	2,3	—	Croßley
250	7,6	3,0	—	Deutz; h = 1,8 m
400	9 (7,6)	5,4 (4,6)	50	Körting
500	13,2	5,7	119	Deutz
600	10,5	6,0	125	Deutz; h = 2,4 m
700	12,3	6,9	127	Körting
1000	14,7 (12,5)	8,7 (7,3)	190	Körting
1100	13,5	6,5	—	Körting; h = 2,8 m

ε) Spiritusmotoren:

PS/u	Höhe m	Breite m	Länge m
2/260	1,4	0,74	1,54
6/240	1,60	1,02	2,0
30/170	2,24	2,44	3,76

Spiritusmotoren samt Dynamo:

KW/u	Breite m	Länge m
2,3/750	0,6	1,3
10/660	0,7	2,3
40/660	0,9	3,2

Dieselmotoren:

PS_e	Touren	b m	l m	h m	Gewicht netto t	Preis Mk.	
10	255	2,2	1,8	1,9	2,3	5000	
50	170	3,5	3,1	3,3	12	15000	1 Zylinder
150	150	4,3	5,2	5,0	37	39000	
300	150	4,3	6,0	5,0	66	72000	2 Zylinder

Bei elektrischem Betrieb ist noch ein zweites Schwungrad erforderlich, das oben nicht eingeschlossen ist.

Digitized by Google

d) Ermittlung des Schwungrads (überschlägig):

$$\text{Schwungradgewicht } G = 100 \frac{c}{\delta} \frac{PS}{u v^2} \text{ in kg.}$$

c = 80 bei Einzylindermaschinen,
= 20 bei Dreizylindermaschinen,
= 800 bei einfach wirkenden Viertaktmotoren mit 1 Zylinder,
= 350 ebenso mit 2 Zylindern,
= 20 bei doppelt wirkenden Viertaktmotoren mit 4 Zylindern,
v = mittlere Umfangsgeschwindigkeit des Kranzes (20—30 m/Sek., ausnahmsweise bis 40),
u = minutliche Tourenzahl,
δ = bei Dampfmaschinen $^1/_{150}$—$^1/_{300}$, bei Gasmotoren $^1/_{50}$—$^1/_{150}$.

Die Bestimmung des GD^2, wie es für das Parallelschalten von Drehstrommaschinen erforderlich ist, findet sich in Bd. II.

e) Platzbedarf von Wasserturbinen.

α) Vertikale Welle (geringe Tourenzahl):

PS|u	Grundfläche m	Höhe über Fußboden m	
190/90	3,5 × 3,5	1—2	8—40 m unter dem Fußboden aufbetoniert. Oben konische Räder oder direkt gekuppelte Dynamo; im ersten Fall ist noch besonders der Platz für die Dynamo und ein Schwungrad vorzusehen, im zweiten nicht.
250/170			
400/60	5 × 8	1—2	
500/200	4 × 4	1—2	
1500/120	6 × 8	1—2	
1000/250	6,5 × 6,5	3,5	

In der Niagaraanlage kommt auf 100 PS 1 qm Schachtquerschnitt.

β) Horizontale Welle (Schnellläufer):

	PS	Länge × Breite × Höhe [1]) mm	mm	mm	
1000—250 Touren	100	1000—2000	1200—2200	1500—2000	Dazu kommt noch ein geeigneter Platz für das Zu- und Abflußrohr.
	500	2000—5000	1500—3000	2500—3000	
	1000	3000—6000	2500—4000	2500—3000	
Zwillingsturbine	1500	4000	3500	3500	
„	2500	6000	3500	3000	
„	10000	8900	6400	—	

Dazu kommt häufig noch ein Schwungrad, z. B. $GD^2 = 4000$ m²/kg bei 500 PS 500 Touren und v = 30—40 m/Sek.

Bei konstantem Unterwasserspiegel braucht das Turbinenhaus nur 1—2 m aufbetoniert zu sein, bei der Gefahr der Ueberschwemmung durch Hochwasser jedoch 5—10 m.

[1]) Länge in der Achsrichtung.

Digitized by Google

7. Gewichte der Antriebsmaschinen.

Siehe auch unter 5 und 6.

a) Dampfmaschinen:

Einzylindrig mit Kondensation und Schwungrad, langsamlaufend	PS_e	5	50	150	500	5000
	kg/PS_e	200	150	120	80	—
Mehrzylindrig mit Kondensation und Schwungrad, langsamlaufend	kg/PS_e	—	250—100	200—100	120—60 samt Dynamo 120—200 kg/PS_e	80—50
Schnellläufer	kg/PS_e	50—80	40—60	40—60	40—50	—

Ohne Kondensation erniedrigt sich das Gewicht um 10—20 %.

Langsamläufer.

PS	50	100	500	1000	3000
Gewicht total für liegende Maschinen	8,5	16	67	105	290 t
Gewicht für stehende Maschinen	8,0	14,5	56	120	262 t
	2 Zylinder			3 Zylinder	

b) Lokomobile:

PS_e	5—10	50—100	300
kg/PS_e	1000—500	400—300	220

c) Dampfturbinen:

Parsonsturbinen.

Gewichte: 15—25 kg pro PS_e.

PS	2500	5000
Gewicht kg	85 000 samt Dynamo	66 000 ohne Dynamo

Digitized by Google

Curtisturbinen.

KW/u	15/3000	500/1800	1500/800	2000/750	5000/500
Gewicht samt Dynamo in Tonnen	0,83	16,4	55	135	175 = 1/8 von Dampfmaschinen

40—20 kg pro PS_e oder 15—25 % desjenigen von Dampfmaschinen.

d) Gasmotoren:

	PS_e	5	20	100	500	1000
Motor samt Schwungrad .	kg/PS_e	250	200	200—150	180—100	120—90
Sauggasanlage	kg/PS_e	250	110	60	40	—
Ganze Gasmotorenanlage exkl. elektrischem Teil .	kg/PS_e	600	400	300	—	—
Gasdynamo	kg/KW	200	150	120	—	—

Spiritus- und Benzinmotoren:

PS_e	1	5	30
kg/PS_e	180—300	50—250	200

8. Preise der Antriebsmaschinen.

Siehe auch unter 5 und 6.

a) Dampfmaschinen:

	PS_e	3	10	50	150	
α) Einzylindrig, ohne Kondensation, langsamlaufend . .	Mk./PS_e	200—300	120—200	70—120	60—100	mit Kondensation 10—20 % mehr.
Samt Kessel . .	Mk./PS_e	600—800	300—500	250	—	

	PS_e	30	100	500	2000	
β) Mehrzylindrig, mit Kondensation, langsamlaufend . .	Mk./PS_e	200—150	160—100	120—90	100—60	ohne Kondensation 10—20 % weniger.
Samt Kessel . .	Mk./PS_e	450	300—250	250—180	250—150	

Digitized by Google

γ) Schnellläufer mit Kondensation	PS_e	30	100	500	2000
	Mk./PS_e	130	80	50	50

Langsamläufer.

PS	50	100	500	1000	3000
Preis total für liegende Maschinen	8500	14400	50000	105000	210000 Mk.
Preis für stehende Maschinen	10000	17000	48000	96000	210000 Mk.
	2 Zylinder			3 Zylinder	

δ) Für größere Leistungen gilt folgender Vergleich der Kosten in Mk./PS_e:

		1 Zylinder	2 Zylinder	3—4 Zylinder
Ohne Kondensation	hochtourig . . .	75	90	110
	niedertourig . .	100	—	—
Mit Kondensation	hochtourig . . .	90	105	125
	niedertourig . .	115	125	160—190

ε) Lokomobile:

PS_e	5	20	100	300
Mk./PS_e	700—500	400—300	250	200

Das kg Dampfmaschine kostet bei 10 PS ca. 2,5 Mk., bei 100 PS ca. 1 Mk. und sinkt bei großen Typen bis auf 0,5 Mk., zusätzliche Schwungmassen pro 1 kg 20—40 Pf. Lokomobile kosten pro kg 0,7—1,0 Mk. Zuschlag für Rohrleitungen 10—30 %.

Die Montagekosten sind bei 5—10 PS 10 %, bei 100 PS 7 %, bei 500 PS 5 % und bei 2000 PS 3 % des Anschaffungspreises oder auch 3—5 Mk. pro PS_e. Die Fundamente kosten 8—10 Mk. pro PS_e.

Große Dampfmaschinen kosten pro KW fertig montiert 100—170 Mk., Rohrleitungen dazu 30—50 Mk. pro KW,

„ „ mit geringer Tourenzahl samt Fundament und Rohrleitung 100—150 Mk. pro PS_e.

b) Größere Dampfturbinen oder Schnellläufer (Dampfmaschinen) kosten samt Dynamo ca. 200 Mk. pro KW.

Digitized by Google

Preise von Dampfdynamos bei:

KW	5	20	100	2000
Mk./KW	500—600	300—400	250	200
Gewicht/KW	150	150	150	150
Mk./kg	3,3	2,3	1,6	1,3

3 Dampfdynamos zu 500 PS kosten 300000 Mk.,
1 Dampfdynamo zu 1500 PS kostet 215000 Mk.

c) Lavalturbinen:

PS_e	3	10	100	300
Turbine	700	1900	8500	22000 Mk.
Kondensator	—	500	2500	4000 Mk.
Dynamo	1500	3000	14000	45000 Mk.

Dampfturbinen Brush-Parsons:

KW	50	100	500	2000
Touren	4000	3500	2500	1200
Turbine Länge	3,2 m	3,7 m	5,4 m	6,3 m
Turbine Breite	0,7	0,9	2,1	3,0
Turbine Höhe	1,3	1.7	2,2	3,1
Turbine samt Dynamo Länge	4,8	5,9	7,9	15,5
Turbine samt Dynamo Breite	0,7	0,9	2,1	3,0
Turbine samt Dynamo Höhe	1,3	1,3	2,2	3,1
Verpackt Gewicht der Turbine pro KW	65 kg	45 kg	20 kg	11 kg
Verpackt „ samt Dynamo „ „	90	75	40	30
Preis pro KW, Turbine	200 Mk.	150 Mk.	100 Mk.	100 Mk.
„ „ „ samt Dynamo	350	250	170	160

Parsonsturbinen von Brown, Boveri & Co.:

KW	Touren	Breite m	Höhe m	Länge der Turbine m	Länge der Dynamo m	Gewicht (Turbine u. Dynamo) t	Preis Mk.
50	5000	0,75	0,75	1,9	1,7	4	18000
100	4000	1,2	0,8	3,3	2,4	6,5	30000
500	3000	2,0	1,1	4,5	3,1	17	50000
1000	1500	2,3	1,3	5,9	4,1	40	93000
4000	1000	3,0	1,8	9,0	5,1	100	240000
7500	750	3,2	1,85	9,8	5,6	160	340000

Digitized by Google

Turbinen samt Dynamo kosten jetzt meist nur 70—50 % des entsprechenden Pendeldampfmaschinenaggregats und kaum 60—40 % gegenüber Gasmotoren. Eine ganze Turbinenanlage kostet kaum die Hälfte einer Anlage mit Kolbenmaschinen.

d) Gasmotoren:

	PS_e	2	5	20	100	400	
Gasmotor	Mk./PS	400—700	350—450	300	200	180—150	
Gaserzeuger	Mk./PS	—	300	100	50	30	
Gasmotor mit Zubehör	Mk./PS	1300	800	600	500	400	samt Montage
Gasmotor mit Zubehör und mit Gaserzeuger	Mk./PS	—	1300	1000	600	500	samt Montage

Benzin- und Petroleummotoren kosten beiläufig dasselbe, eher 10—20 % mehr. Amerikanische Großgasmotoren sollen 60—100 % mehr kosten als Dampfmaschinen, meist ist der Unterschied 20—50 %.

Kosten von Sauggasanlagen ohne Rohrleitungen und ohne Montage:

PS_e	5	10	50	150
Mk./PS_e	800	650	300	200

Gasdynamos:

KW	1	10	100
Mk./KW	3000	800	500

Benzin- und Petroleumdynamos kosten dasselbe bezw. 10—20 % mehr.

Die Preise mehrzylindriger Gasmotoren können bei direkter Kupplung mit Drehstrommaschinen bis auf 60 % der für Einzylindermotoren bei gleicher Leistung sinken.

Eine Anlaßvorrichtung kostet für einen 10 PS-Motor ca. 200 Mk., für einen 100 PS-Motor 450 Mk.

e) Vergleich von Riemen- und Seilantrieb mit direkter Kupplung:

Leistung	Antrieb	Touren	Preis der Dynamo	
50 KW	Riemen	600	1	—
	direkt	160	2,2	—
	direkt	100	2,8	—
200 KW	Riemen	350	3,2	1
	direkt	160	4,4	1,4
	direkt	100	5,6	1,8
	direkt	75	7	2,2
500 KW	Seil	275	6,6	1
	direkt	100	9	1.4
	direkt	75	11,2	1,7

Digitized by Google

Zu Gunsten der direkten Kupplung spricht u. a. die Platzersparnis.

Aehnlich liegen auch die Verhältnisse bei Turbinen bezüglich Kegelräderantrieb oder direkter Kupplung.

f) Wasserturbinen.

Preise pro KW in großen Einheiten 60 Mk. (ohne Rohrleitung).

	PS	20	60	über 200
Bei kleinem Gefälle (3—5 m)	Mk./PS	120—50	70—40	40—25
Bei großem Gefälle (30—100 m) . . .	Mk./PS	405	30	20—15
Peltonräder (bis 1000 m Gefälle) . . .	Mk./PS	10	8—10	8—10

Man kann auch bei geringem Gefäll setzen: Gesamtpreis der Turbine = 400 + 1200 Q, Q = Wassermenge in cbm/Sek., bei Peltonrädern 70 + 500 Q.

Pro kg Turbinengewicht setze man 1,5—0,6 Mk.

Preise eines Bremsregulators:

PS	5	100
Mk.	650	2600
Mk./kg	2	1

g) Windmotoren[1]):

PS	1/4—1	1—4	4—14 je bei 4—8 m/Sek.-Wind
Mk.	450	1200	4000
Raddurchmesser	3	5	10 m

9. Zubehör zu Maschinen.

a) Riemen:

Breite	40	100	1000 mm
Preis pro m . .	1,1—1,7	2,7—5,2	75 Mk.
Kamelhaarriemen:			
Preis pro m . .	1,8	4,2	72 „

b) Hanf- und Baumwollseile:

Durchmesser mm . .	25	50
kg/m	0,5	1,8
Mk./kg	1,45	1,45

[1]) Herkulesmotoren der Deutschen Windturbinenfabrik Dresden.

Digitized by Google

c) Riemenscheibengewicht (Eisen): $k\,b\,D^2$ in kg; b = Breite; D = Durchmesser in cm; k = 0,0007—0,0013; Riemenscheibenpreis in Mk. = $c\,b\,D^2$; c = 0,002 bis 0,0005.

Dieselben Ausdrücke sind auch für Seilscheiben anwendbar.

Bei Holzscheiben bleibt der Preis annähernd derselbe (10—20% kleiner); das Gewicht ist aber nur $^1/_2$—$^1/_4$.

d) Zahnräder:

Teilkreisdurchmesser	200	600	1500 mm
Preis pro fertigem Rad { Teilung = 20 mm .	20	75	200 Mk.
Preis pro fertigem Rad { Teilung = 80 mm .	—	160	450 „

Bearbeitete Zahnräder oder Schnecken: 1,2—0,3 Mk./kg. Rohhauträder:

Durchmesser .	30	100	500 mm
Preis Mk. . .	0,3	2,3	44

Grissongetriebe:

PS	Touren	Uebersetzung	kg	Mk.
0,5	1500	1 : 5	3	65
0,5	1500	1 : 30	50	290
150	500	1 : 5	400	620
150	500	1 : 30	5800	3700

e) Zodel-Voith-Kupplung:

PS/u.	0,00087	0,01	0,46	3,8	10
Mk.	35	80	350	1050	2200
Gewicht kg . .	1,2	13	170	900	2400

f) Drahtseil: 0,8—2 Mk./kg.

g) Gewöhnliche Kette:

Tragkraft . . .	150	1000	10000 kg
Preis pro m . .	0,8	1,5	11 Mk.

Gallsche Kette:

Tragkraft . . .	100	1000	30000 kg
Preis pro m . .	7	10	75 Mk.
Gewicht pro m .	0,7	4	110 kg

Digitized by Google

h) Pro kg Welle 0,5—10 Mk., pro kg Guß für Lager, Riemen- und Seilscheiben, Kupplungen u. a. 0,5—1,2 Mk.; Fundamentschrauben und Zubehör pro kg 0,3—0,4 Mk; für Schwungräder 0,3—0,5 Mk. pro kg; Schrauben pro kg 0,4 bis 1,5 Mk.; alles bearbeitet.

i) Transmissionslager:

Wellendurchmesser	50	150 mm	vollständiges Stehlager
Mk.	30	200	
Kugellager:			
Lagerdruck	250	2500 kg	
Zapfendurchmesser	25	110 mm	
Preis	5	40 Mk.	(nur 2 Laufringe mit Kugeln)

10. Dampfkessel.

Meist 9—14 kg/qcm Druck, häufig Wasserrohrkessel, Ueberhitzung bis + 100° C.

Pro 1000 PS_e: 250—700 qm Heizfläche in großen Anlagen über 1000 PS; 500—1000 qm Heizfläche in mittleren Anlagen von 100—1000 PS; 1000—1500 qm Heizfläche in kleinen Anlagen ohne Kondensation. Im Mittel ist $qm/PS_e = 0{,}7$.

Kesseleinheiten in großen Anlagen meist mit 200—300 qm Heizfläche oder pro 300—1000 PS ein Kessel, allgemein 10—500 qm Heizfläche pro Kessel, bezw. auf 50—1000 PS je ein Kessel.

Pro qm Heizfläche verdampfen 10—40 kg Dampf (meist 10—20 kg), verbrennen 2—5 kg Steinkohle oder 5—12 kg Braunkohle.

Pro kg Kohle erzeugt man 8 (Anthrazit) bis 3 (Braunkohle) kg Dampf.

Pro qm Rost: 25—60 qm Heizfläche sowie 60 (gute Kohle) bis 200 kg Kohle pro Stunde.

Kesselgewicht leer pro PS_e: 100—400 kg, die kleinere Zahl bei 300 qm Heizfläche, meist 100—150.

Kesselgewicht leer pro qm Heizfläche: 300—150—100 kg bei 5 bis 50—300 qm; dazu rechnet man pro qm Heizfläche bei Wasserrohrkessel 20—70 l Wasserinhalt, sonst 100—400 l. Flammrohrkessel sind an sich 10—50 % schwerer als Wasserrohrkessel. Der Dampfinhalt ist pro qm Heizfläche 10—90 l bei Wasserrohrkessel, sonst 70—200 l.

Heizfläche des Ueberhitzers: $^1/_3$—$^1/_5$ des Kessels.

Platzbedarf des Kessels:

Druck	Heizfläche	Rostfläche	Eingemauert			
			Länge	Breite	Höhe	
kg/c²	qm	qm	m	m	m	
10	250	5	9,5	3,5	5,5	(Großwasserraum)
10—12	350	—	5,8	4,9	5,3	Röhrenkessel
„	120	—	5,7	2,3	4,4	
„	20	—	3,8	1,6	3,6	

Digitized by Google

Zum Ausziehen der Rohre ist vor den Kesseln in der Längsrichtung ein Raum von 3,5—6 m (siehe Länge in der Tabelle) freizulassen.

Die Kesselgrundfläche pro qm Heizfläche ist bei Wasserrohrkessel 0,07—0,25 qm, sonst 0,2—1,2 qm (Mittel 0,5).

Preise der Dampfkessel.

Pro PS_e:

In großen Anlagen (über 1000 PS) 30—80 Mk.[1])
In kleinen Anlagen (30—100 PS) 40—100 Mk. .
bei 10 PS . . . . . 200-300 Mk. .

} Großwasserraumkessel kosten 50—100 % mehr als Wasserröhrenkessel, bezogen auf dieselben PS_e.

Zuschlag für Pumpen und Rohrleitung: 20—50 % oder 10—50 Mk./PS_e.

Pro qm Heizfläche:

ca. 100—50 Mk., davon 20—30 % für die Kesselarmatur.

Heizfläche qm	5	10	50	100	200	300
Kessel Mk./qm . . .	140	110	85	75	70	} 40—60
Armaturen Mk./qm .	95	60	25	15	10	
Einmauerung Mk./qm	50	40	20	15	10	8
Kesselgewicht kg/PS.	600	400	250	150	120	100

Pro kg Kessel (ohne Mauerwerk): 0,4—0,8 Mk.; Zuschlag für Montage 3 % (große Kessel) bis 12 % (kleine) oder 15—35 Mk. pro cbm Mauerwerk.

Für das Fundament von Dampfkesseln rechne man 3—5 Mk./PS_e
Für die Einmauerung . . . . . 10—25 „
Für die gesamten Rohrleitungen, Pumpen und Zubehör . . . . . 35—80 „

} bei 150—10 PS_e.

Zubehör: Ueberhitzer 50—80 Mk./qm Heizfläche, Vorwärmer 5—10 Mk. (und 2—5 kg) pro qm Kesselheizfläche, Ekonomiser 40—50 Mk./qm Kesselheizfläche, Wasserreiniger 1000 Mk. für 1 cbm/Stde, 7000 Mk. für 20 cbm/Stde, Dampfstrahlzerstäuber für Petroleum etc. 60—120 Mk. pro Stück.

Bei Müllverbrennung ist für das Ofenhaus noch 50—120 Mk. pro PS_e zuzuschlagen oder aber ein Ofenhaus für 100 t Müll in 24 Stunden kostet 50000 Mk.

11. Schornsteine.

a) Gemauert:

PS	Heizfläche qm	Höhe h m	Lichter Durchmesser d oben m	Preis Mk.
25	30	15	0,6	500
120	100	25	0,9	2000
800	400	42	1,6	9000
1500	700	50	2,0	15000

[1]) Die kleineren Zahlen gelten für Wasserrohrkessel.

Digitized by Google

Lichter Durchmesser unten = 1,7mal oben; Wandstärke oben 15—35 cm, nach unten pro 5 m um 5 cm steigend.

Höchste ausgeführte Höhe = 75—140 m, man geht selten über 60—75 m Höhe und verwendet gegebenenfalls zwei und mehr Schornsteine. Die Höhe h ergibt sich auch aus dem effektiven Querschnitt $q = \frac{d^2\pi}{4}$ (beides in m) nach der Formel:

$$PS = c\,q\,\sqrt{h},\quad c = 30—70.$$

Den Preis kann man berechnen aus:

$$Mk. = k\,.\,h\,d,\quad k = 100—150$$

oder aber mit 50—10 Mk./PS oder pro cbm Mauerwerk 40—30 Mk.

b) Blechschornsteine kosten nur 50—70% der gemauerten:

PS	Heizfläche qm	Höhe h m	5—8 mm starkes Blech: Durchmesser d m	5—8 mm starkes Blech: Gewicht kg	
5	6	14	0,3	800	Das kg kostet 0,30 Mk., dazu kommt noch ein Fundament, z. B. beim letztgenannten von 40 cbm à 30 Mk. = 1200 Mk.
20	25	22	0,6	2200	
100	125	35	1,2	9000	

Pro qm Heizfläche 100—70 kg Gewicht für den Schornstein.

12. Zubehör zum mechanischen Teil der Kraftwerke.

Dampfanlagen (pro PS_e Zentralenleistung):

Rohrleitungen und Pumpen pro PS_e	100—10 Mk./PS_e	bei 10—1000 PS_e.
Pumpen und Injektoren	10— 6 „	Größere Anlagen von 1000 PS aufwärts.
Kondensator samt Pumpe, Oberflächen- . . .	100—40 „	
Einspritz-	60—20 „	
Ekonomiser	10 „	
Gradierwerk	30—10 „	
Fundamente (Kessel und Maschinen)	50 Mk./KW	

Kosten pro PS_e (Zentralenleistung):

PS_e	100	500	3000
Speisepumpen	8	2,5	1,5
Wasserreinigung . . .	18	10	4
Kaminkühler	24	10	5
Rohrleitungen etc. . .	48	40	30

Allgemein:

Für Hebezeuge (meist 7½—20 t-Kran für 8000 bis 15000 Mk.)	15 Mk./PS_e (Zentralenleistung)
Werkstätte	5 „

Digitized by Google

Das Gewicht der Rohrleitungen samt Pumpen 150—20 kg/PS$_e$ bei 10—1000 PS; ihr Preis pro kg 0,65—0,40 Mk., ihre Montage 20—10 % ihres Wertes.

Rohrleitungen berechnen bei Dampf für v = 15 m/Sek., bei überhitztem Dampf das Doppelte; bei Gas für v = 1—2 m/Sek.

Einzelpreise: Kesseldampfpumpen	Liter/Min.	15	500	12 Atm.
	Mk.	350	2100	
	kg	140	1900	
	Mk./kg	3,5	1,1	

Injektor: Heizfläche . .	10	150.	Gradierwerk bei 1000 PS$_e$: 10000 Mk.
Mk.	60	260.	

cbm/Stden an Wasser	33	500
Preis der Luftpumpe	800	5700 Mk.
Preis des Einspritzkondensators	130	890 Mk.

Kippwagen 100 Mk., Rollwagen 25 Mk., Schubkarre 10 Mk., Zentralschmierapparat 100—200 Mk., Tachometer 100—150 Mk., Tachograph das Doppelte, Dezimalwage 60—500 Mk.; Kranwage 250 Mk. bei 150 kg Tragkraft, 2000 Mk. bei 5000 kg, pro kg Gewicht 4—2 Mk.

13. Wahl der Spannung.

a) Uebertragungsspannung.

Allgemein nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten: Verzinsung, Abschreibung und gesamte Betriebskosten müssen zunächst für die Leitung in Summa ein Minimum werden. Gegenwärtig Maximalspannung für kommerzielle Zwecke: 80000 Volt. Die Tabellen sind auf Grund ausgeführter Anlagen zusammengestellt.

α) Gleichstrom:

	Größte Distanz von der Zentrale		Volt	KW	
	km	ausnahmsweise km			
Fürstädtische Netze sollten die kleineren Zahlen nicht überschritten werden.	1/8—1	2	115	200—5	Distanz bei geg. Volt umso kleiner, je größer die KW-Zahl.
	1/2—2	4	230	500—50	
	1—3	5—10	470—600	250 KW bis 2 1/2 km 1000 KW bis 1 1/2 km	
	3—5	—	1000	Reine Kraftübertragung mit konstantem Strom.	
	5—10	—	5000		
	15—20	—	10000		
	30—400	—	20000—60000		

Städtische Zentralen verwenden in überwiegender Anzahl Gleichstrom, wenigstens zur Verteilung.

Digitized by Google

β) Drehstrom:

Größte Distanz von der Zentrale km	ausnahmsweise km	Volt	
1—2	—	500	Bei gegebener Distanz ist die Spannung umso höher zu wählen, je größer die Leistung.
1—3	8	2000	
2—6	12	3000	
3—10	20	4000	
3—20	40	5000—6000	
5—30	50	7000—8000	
10—30	50	9000—10 000	
20—70	—	15 000	
50—150	—	25 000	
100—400	—	40 000—80 000	

Bei Zentralenleistungen von 100000 KW aufwärts können Uebertragungen auf 500 km noch rentabel sein.

b) Bezüglich der Verteilungsspannung ist die Spannung der Stromverbraucher maßgebend: Bogenlampen benötigen 30—50 Volt, eingeschlossene Bogen 60 bis 100 Volt, lassen sich aber zu 2—6, ja sogar zu 100—300 Stück in Serie schalten.

Gewöhnliche Glühlampen werden gegenwärtig bis 250 Volt gebaut und werden in Dreileiterschaltung zu zweien in Serie geschaltet; die 100—150voltige Glühlampe kostet aber nur 50 Pf. (250 Volt 1 Mk.) und verbraucht nur 2,5—3 Watt/NK gegen 3,5—4 Watt/NK bei 250 Volt. Die Osmiumlampe brennt mit 30—50 Volt, die Nernstlampe wird neuerdings bis 500 Volt geliefert.

Kleine Motoren unter ½ PS werden nur für 110 Volt und weniger hergestellt, Motoren über 100 PS bei Drehstrom für 1000—5000 Volt, bei Gleichstrom selten über 600—1000 Volt.

Elektrolytische und metallurgische Apparate benötigen ½—110 Volt, je nachdem es sich um rein elektrochemische Prozesse oder solche mit Lichtbogen handelt bezw. je nach Schaltung der Apparate. Für diesen Zweck ist in der Regel nur Gleichstrom angängig, für Oefen auch Wechselstrom.

14. Elektrische Generatoren.

a)

KW	5	50	500	2000 und mehr
Tourenzahlen, langsamlaufend	150—400	100—200	75—150	50—130
„ raschlaufend .	1000—1500	400—800	200—500	150—400

Turbodynamos siehe Dampfturbinen.

Digitized by Google

b) Preise und Gewichte pro KW oder KVA samt Zubehör:

KW	Mit 2 Lager		Ohne Lager	
	5	50	500	2000 und mehr
Langsamlaufend Mk./KW .	200—300	150—250	70—150	60—100
kg/KW . .	100—150	70—120	50—70	40—50
Raschlaufend Mk./KW . .	100—150	60—100	50—80	40—70
kg/KW . . .	30—70	30—60	30—40	30—40

Schwungradmaschinen für Dampfmaschinen 80—120 kg/KW und 80—120 Mk./KW.

Für Turbodynamos können zunächst die Werte der Tabelle für raschlaufende Dynamos genommen werden, siehe auch bei Dampfturbinen.

1 kg Maschinengewicht kostet bei kleineren Typen 2—6 Mk.; bei großen Typen 2,0—1,0 Mk.; für Zubehör kann man 5—1 Mk. pro kg rechnen, je nach Material und Bearbeitung.

Das Gewicht pro (KW/u) . 1000 fällt von 200 kg bei (KW/u) . 1000 = 0,1 auf etwa 5 kg bei (KW/u) . 1000 = 30000; die entsprechenden Preise pro (KW/u) . 1000 sind 1500 Mk. und 10 Mk. Das Gewicht läßt sich darstellen durch c $(KW/u)^{2/3}$, c = 7000 bis 15000 kg. Für die Erregermaschine sind im Preis 5—20 % zuzuschlagen.

Für Gleitschienen, Riemenscheibe und Zubehör schlage man 5—15 % im Preis zu; für 2 Lager und Grundplatte bei den größeren Typen 10—20 %, für 1 Lager 5—10 %, für 3 Lager und Seilscheibe 40—80 %, für den Nebenschlußregulator 2—10 %.

Ein Reserveanker kostet 40—60 % des Maschinenpreises und wiegt 20—40 % des Maschinengewichtes.

c) Angaben über Gleichstrommaschinen:

Anker + Kommutator + Gehäuse	+ 1 Lager	+ 1 Lager und Grundplatte	+ 2 Lager und Grundplatte
Preis: 1	1,02—1,06	1,08—1,10	1,12—1,18

Spalte 1	2	3	4	5	6	7
KW/u	Anker + Kommutator ohne Welle	Wie 2 + Feldgestell	Wie 3 + 2 Schilder + Welle	Wie 4 + Riemenscheibe und Riemenspanner	Wie 2 + 2 Stehlager und Grundplatte + Welle	Wie 6 + Riemen- oder Seilscheibe + Spannschienen
			Listenpreis:			
0,1/2000	0,45	—	1 (= 110 Mk.)	1,1	—	—
10/900	0,42	—	1 (= 1300 Mk.)	1,1	1,25	—
100/200	0,39	1 (= 12000 Mk.)	—	—	1,25	1,40
1200/80	—	1 (= 80000 kg)	—	—	1,17	—

Digitized by Google

Spalte 1 KW/u	2 Anker + Kommutator ohne Welle	3 Wie 2 + Feldgestell	4 Wie 3 + 2 Schilder + Welle	5 Wie 4 + Riemenscheibe und Riemenspanner	6 Wie 2 + 2 Stehlager und Grundplatte + Welle	7 Wie 6 + Riemen- oder Seilscheibe + Spannschienen
			Gewichte:			
0,1/2000	0,20	—	1 (= 12 kg)	1,45	—	—
10/900	0,20	0,83	1 (= 500 kg)	1,10	1,18	1,33
100/200	0,44	1 (= 5000 kg)	—	—	1,55	2,0 } mit 3 Lagern
450/300	0,42	1 (=15000 kg)	—	—	1,30	1,45 } mit 3 Lagern
1200/80	0,45	1 (=60000 kg)	—	—	1,25	—

d) Drehstromgeneratoren:

Spalte 1 KW/u	2 Maschine mit 2 Schilder und Wellenstumpf	3 Wie Spalte 2 + Riemenscheibe und Gleitschienen	4 Wie Spalte 2 + Riemenscheibe + 3 Lager	5 Wie Spalte 4 + Grundplatte + Gleitschienen	6 Erregerdynamo [1]	
5/1500	1 (= 750 Mk.)	1,08	—	—	—	Listenpreise
60/750	1 (= 4000 Mk.)	1,05	—	—	—	Listenpreise
110/600	1 (= 6700 Mk.)	—	1,07	1,22	0,25	Listenpreise
270/375	1 (=12000 Mk.)	—	1,10	1,25	0,18	Listenpreise
5/1500	1 (230 kg)	1,4	—	—	—	Gewichte
60/750	1 (1350 kg)	1,3	—	—	—	Gewichte
110/600	1 (2600 kg)	—	1,24	1,42	0,10	Gewichte
270/375	1 (6500 kg)	—	1,30	1,45	0,06	Gewichte

[1]) Direkt gekuppelt.

Digitized by Google

Spalte 1 KW/u	2 Stator und Rotor ohne Welle	3 Spalte 2 und 1 Lager und Welle	4 Spalte 2 und 2 Lager und Welle	5 Erreger-dynamo	
160/300	1 (= 11000 Mk.)	1,08	1,09	0,20	Preise
1800/83,5	1 (= 120000 Mk.)	1,06	1,10	0,07	
160/300	1 (= 6000 kg)	1,14	1,22	0,07	Gewichte
1800/83,5	1 (= 80000 kg)	1,05	1,10	0,035	

e) Die Tourenzahlen u der elektrischen Generatoren bestimmt bei direkter Kupplung die Antriebsmaschine, sonst das Uebersetzungsverhältnis. Uebliche Tourenzahlen siehe Bd. I, S. 11. Bei Drehstrom und Wechselstrom muß $u = \frac{60\,n}{p}$ sein; n = Periodenzahl; 2 p = Polzahl.

Bezüglich der Gewichte und Preise bei verschiedener Antriebstourenzahl gibt folgende Tabelle für 1000 KW Aufschluß:

Tourenzahl .	100	250	800	1250	1600
Gewicht t . .	32	23	15	18	27
Preis Mk. . .	35000	25000	20000	25000	35000

Riemengetriebene Maschinen erhalten bis etwa 80—100 KW fliegende Riemenscheibe, dann 3 Lager, zwischen 2 Lager sitzt die Riemen- oder Seilscheibe.

f) Platzbedarf elektrischer Generatoren (Gleich- oder Drehstrom).

	KW	Länge (Achsrichtung) m	Breite m	Größter Durchmesser [1] m	qm/KW	
Raschlaufend	5	0,7	0,4	0,45	0,056	Mit 2 Lagern und Wellenstumpf.
	20	1,1	0,75	0,80	0,030	
	100	1,7	1,5	1,7	0,026	
	500	2,8	3,8	3,5	0,021	
Langsamlaufend	150	0,8—0,6 [2]	2,4—2,9 [2]	2,0—2,6 [2]	0,0127—0,0115	Ohne Lager und ohne Welle.
	500	1,2—0,8 [2]	4,0—6,5 [2]	3,5—5,5 [2]	0,0096—0,0103	
	3000	1.6—1,2 [2]	9,5—12 [2]	8,2—10 [2]	0,005—0,0048	

[1]) Die Höhe der Maschine ist etwas kleiner als dieser größte Durchmesser d, Wellenhöhe h_w = 500—1000 mm, Grubentiefe $\simeq d/2 - h_w$.

[2]) Gilt für Schwungradmaschinen.

Digitized by Google

Bei Drehstrom sind für direkt gekuppelte Erregermaschinen noch 15—20 % zur Länge zu schlagen.

Maße der Riemen- und Seilscheiben nach S. 491.

Die Wirkungsgrade der Dynamos siehe Bd. I, S. 12 (über 100 KW meist 90 bis 94 %); bei Drehstrom ist die Erregerleistung 2—5 % der Generatorleistung; der cos φ bei Licht = 1; bei Kraft $\sim$ 0,8; bei Licht und Kraft ca. 0,9.

15. Umformer und Transformatoren.

a) Rotierende Umformer: 25 Perioden.

Wirkungsgrad 90—95 %, Doppelmaschinen 85—91 %.

Einanker-umformer	KW	50	200	1000	Ankergewicht = 35—40 % des Maschinengewichts.
	kg/KW	40—60	30—45	25—40	
	Mk./KW	80	50	40	
	Mk./kg	1,6	1,5	1,3	

Angenäherter Platzbedarf:

Grundfläche pro 100 KW .	4	3	1,2 qm (annähernd ein Quadrat oder b : l = 1,5 : 1).
Höhe total	1,2	2,2	3,5 m

Drosselspulen sind wie Transformatoren zu behandeln.

Motorgeneratoren sind 1,3—1,6 mal teuerer und schwerer, Platzbedarf etwa das 1½—2fache; sie sind aus 2 Maschinen mit zusammen 2, 3 oder 4 Lagern zusammenzusetzen. Bei Motorgeneratoren können jedoch die Transformatoren wegfallen.

Für Typen von 150—500 KW und 5000—8000 Volt gilt vergleichsweise:

	Motorgenerator		Einanker-umformer	Transformatoren					
				dreiphasig			3 einphasige		
	Asynchron	Synchron		Oel-Kühlung	Preßluft-Kühlung	natürliche Kühlung	Oel-Kühlung	Preßluft-Kühlung	natürliche Kühlung
Preis pro KW in Mk.	125	112	80	16	15,5	18	28,5	24	30,5
Bodenfläche in qm	9,6	9,6	4,6	—	—	—	—	—	—
Wirkungsgrad bei Volllast	86 %	89 %	92 %	97,5 %	97,5 %	97,5 %	97,5 %	97,5 %	97,5 %

b) Transformatoren.

$$\frac{\text{Angeschlossene KW im Netz}}{\text{Leistung aller Transformatoren}} = 0{,}7—2 \text{ (meist 0,9—1,2).}$$

Wirkungsgrad meist 94—98 %.

Digitized by Google

Von 100 KVA ab künstliche Kühlung: Preßluft, Oel- oder Wasserzirkulation, darunter natürliche Luft- oder Oelkühlung.

	KW	Einphasig			Drehstrom		
		5	50	500	5	50	500
Bis 10000 Volt und bei 50 Per.	Preis pro KW Mk.	150—90	80—40	40—15	160—120	100—50	40—20
	Gewicht pro KW kg	35—20	20—12	15—10	45—25	35—15	20—10
	Grundfläche pro KW qdm . . .	4	1,4	0,4	4,3	1,3	0,35
	Höhe m	0,62	1	2,2	0,62	0,91	1,9

Preis pro kg: 5—2 Mk., bei großen Typen bis 1,5 Mk. Bei 25 Per. Gewicht und Preis pro KW 20—50 % größer.

Preis des Oels pro KW: 4—6 Mk. bei kleinen, 1—2 Mk. bei großen Typen.

Oelmenge pro KW: 10—15 kg bei kleinen (bei 50 KW) und 3—5 kg bei großen Typen (von 200 KW ab); bei Wasserzirkulation 5—20 l Oel.

Kühlwasser: Etwa 1—2 l pro Min. und pro 100 KVA.

Kühlluft: 5—10 cbm pro Min. und pro 100 KVA bei 15 mm Wassersäule, pro 1000 KW je ein Gebläsemotor mit 2—3 PS.

Transformatorensäulen ohne Transformatoren wiegen in Eisenblech 1500 bis 2000 kg zu 0,50 Mk. pro kg; sie sind 4,0—5,5 m hoch.

16. Bleiakkumulatoren.

a) Elementenzahl $m = \frac{E}{1,83}$ bei 3stündiger Entladung
$m = \frac{E}{1,75}$ bei 1stündiger Entladung } E = Netzspannung,
$m = \frac{E}{2,05}$ bei Pufferbatterien,

Abschaltezellen $m_z = m - \frac{E}{2,7}$ bei Doppelzellenschalter,

$m_z = m - \frac{E}{2,1}$ bei Einfachzellenschalter.

Maximale Ladespannung 1,5 E (ausnahmsweise 1,6 E).

Wirkungsgrad in Watt 70—75 %, in Amperestunden 90 %.

Die Statistik ergibt ein Verhältnis KW-Stunden-Akkumulatoren zu Gesamt-KW-Stunden von den Zentralen abgegeben = 0,20—0,50.

b) Leistung der Batterie in KW auf 3 Stunden (selten 5 Stunden) Entladung bezogen meist 40 % (35—60 %) der Generatorleistung, schwankt aber zwischen 5—200 %; für kleinere Zentralen am besten 20—30 %, bei großen genügen 5—15 %.

Bei Bahnen bezieht man die KW auf 1 Stunde Entladung

Digitized by Google

Die Kapazität ist bei 10stündiger Entladung 40 %, bei 6stündiger 15 % größer als bei 3stündiger; bei 1stündiger Entladung 20 % kleiner.

Die Ladestromstärke entspricht einer Ladezeit von 3 (Puffer) bis 5 Stunden.

Per KW Batterie	Gewicht total kg	Preis Mk.	Montage
Auf 3 Stunden Entladung bezogen	400—700	300—600	10—20 % Zuschlag
Auf 1 Stunde Entladung bezogen (Pufferbatterie)	200—300	150—300	

Die größeren Zahlen beziehen sich auf 20—100, die kleineren auf 1000—10 000 Amperestunden.

c) Pro Amperestunde und pro Zelle von ca. 2 Volt beträgt Preis und Gewicht:

Amperestunden	30	200	1000—10 000	
Preis in Mark . .	0,40	0,25	0,20	Auf 3stündige Entlastung bezogen.
Gewicht samt Säure	0,50	0,35	0,3 kg	
Preis in Mark . .	0,50	0,35	0,30	Auf 1stündige Entlastung bezogen.
Gewicht samt Säure	0,60	0,45	0,40 kg	

Für Zellenschalterleitungen Zuschlag 10 %, für Schaltapparate 2—10 %, für Säure 5 %, für das Gestell 6—10 %, für Verpackung 7—12 %; Ableuchtlampen 20—25 Mk. pro Stück.

d) Die Außenmaße einer Zelle sind für 3stündige Entladung:

Amperestunden	30	200	1000	15 000
Länge	130	220	470	900 mm
Breite	200	300	600	2100 mm
Höhe	300	500	600	1100 mm

Oder auch bei 300—1100 mm Höhe 9—15 qcm Grundfläche pro Amperestunde und Zelle.

Amperestunden	24	300	3000
	bei 1stündiger Entladung		
Länge	130	460	500
Breite	220	330	1300
Höhe	300	610	1050

Digitized by Google

Die Zellen werden in der Regel auf einem Gerüst in 2 Reihen übereinander aufgestellt, und zwar ist für 10 Zellen eine Grundfläche von 1,5—10 qm bei 20 bis 1200 Amperestunden und insgesamt eine Höhe von 2—2,5 m erforderlich.

Schwefelsäure (18° B_e) pro Zelle und Amperestunde 0,25—0,1 kg, pro 100 l 6,5 Mk. beim spez. Gew. 1,18.

e) Preis eines Einfachzellenschalters:

30	Ampere ca.	30	Mk. bei ca.	5	kg Gewicht
100	„ „	150	„ „ „	20	„ „
2000	„ „	2000	„ „ „	350	„ „

Doppelzellenschalter kosten und wiegen das 2—3fache. Automatische Zellenschalter 300—1000 Mk. mehr als einfache.

Der Anstrich der Akkumulatorenräume mit entsprechender Farbe kostet 40 bis 50 Pf. pro qm.

Transportable Batterien kosten das 1,6—1,3fache der stationären.

Nickelakkumulator (Jungner-Edison) 1,5—1,1 Volt Entladespannung, 1,8 Volt Ladespannung. Gewicht pro Zelle und 100 Amp./Stden 3,2—3,4 kg.

17. Schalttafeln.

1. Niederspannung: Pro Generator ein Marmorfeld von 400—800 mm Breite, 1500—2200 mm Höhe; Tiefe der Schaltanlage etwa 1½—3 m; Gewicht pro Feld samt allem Zubehör 150—500 kg. Pro Speiser in großen Anlagen ebenfalls ein solches Feld, meist 2—12 Speiser pro Feld; außerdem event. 1 Batteriefeld, 1 Erregerfeld und 1 Sammelfeld gleicher Abmessungen. Man kann auch pro Generator oder in großen Anlagen pro 500—1000 KW etwa 1 m Schalttafellänge annehmen ohne besondere Berücksichtigung der Speiser.

2. Bei Spannungen von 1000—3000 Volt ist parallel zu obiger Schaltwand eine Hochspannungsschaltwand vorzusehen, Länge der Tafel wie oben, totale Tiefe 3—7 m.

3. Bei Spannungen von 5000 Volt aufwärts ist ein gesonderter Niederspannungsraum (wie 1) und ein Hochspannungsraum hinter oder unter dem ersteren zu errichten; bei hohen Spannungen und großen Leistungen wird ein 2—5stockiges Schalthaus mit 0,01—0,5 qm Grundfläche pro KW erforderlich.

Pro KW Zentralenleistung (Generatoren- und Akkumulatorenumformer etc.) rechne man mit 10—100 Mk. für die Schaltanlage, der kleine Wert für Niederspannung, der große für Hochspannung. Bis 2000 Volt kostet ein vollständig ausgerüstetes Feld wie unter 1 angegeben 500—2000 Mk. bei 10—500 KW je nach Ausrüstung, kleine einfache Schalttafeln kosten pro Feld nur 60—300 Mk., Verteilungstafeln in Beleuchtungsanlagen 10—50 Mk. Eine Schaltsäule kostet ohne Instrumente 250—300 Mk., mit Instrumenten 500—1000 Mk. Für Maschinenhausleitungen kann man noch 10—50 Mk. pro KW zuschlagen. Siehe auch bei Installationsmaterial.

Für Niederspannungstafeln gelten folgende Zahlen:

Zusammenbau (Marmor und Gerüst) einer Schalttafel pro Feld .	50—90 Mk.
Montage der Apparate und Instrumente auf der Tafel pro Feld	40—90 „
	90—180 Mk.

Digitized by Google

18. Leitungen.

a) Allgemeines. Auf 10000 Einwohner kommen in städtischen Netzen in Frage:

2—30 km Leitungen und 2—20 t Kupfer. Für Uebertragungen kann man in erster Annäherung 5 Mk. pro km und KW setzen.

Das städtische Netz absorbiert $^1/_3$—$^1/_5$ der gesamten Anlagekosten eines Elektrizitätswerks.

Leitungen sind stets so auszulegen, daß die Summe der Verzinsung und Abschreibung des Anlagekapitals samt den jährlichen Kosten für die Energieverluste der Leitungen ein Minimum wird, das ist dann der Fall, wenn ungefähr jährliche Verzinsung und Abschreibung[1]) = jährliche Kosten des Energieverlustes ist.

b) Querschnitt und Spannungsabfall.

Minimaler Leitungsquerschnitt 8—12 qmm, maximaler meist 100 (Luftleitung) bis 300 qmm (Kabel).

Größte Stromdichten 4—6 Amp./qmm (Luft) und 1,5—3 (Kabel), bezogen auf maximal gleichzeitig benutzte KW. Beim Auslegen eines neuen Kabelnetzes gehe man nicht über 1 Amp./qmm.

Der Nullleiter (Mehrleiter- oder Mehrphasennetze) hat den $^1/_2$ Querschnitt der Außenleiter. Speisepunkte in Abständen von 150—500 m.

Die Verbandsnormalien schreiben vor:

Querschnitt qmm	Maximal zulässiger Betriebsstrom Amp.	Querschnitt qmm	Maximal zulässiger Betriebsstrom Amp.
0,75	4	95	165
1	6	120	200
1,5	10	150	235
2,5	15	185	275
4	20	240	330
6	30	310	400
10	40	400	500
16	60	500	600
25	80	625	700
35	90	800	850
50	100	1000	1000
70	130		

Maximaler Spannungsabfall in Verteilungsleitungen 2—3 %, in Speise- und Fernleitungen 10—20 %.

Der Widerstandskoeffizient σ ist für Kupfer 0,0175; für Eisen 0,13; für Aluminium 0,029 bezogen auf 1 m und 1 mm².

[1]) Samt Erhaltung und Reparatur.

Digitized by Google

Für Luftleitungen ist der Selbstinduktionskoeffizient L_s pro km Drahtlänge bei Wechsel- und Drehstrom:

$$L_s = \left(0{,}05 + 0{,}4606 \log_{10} \frac{d}{r}\right) \text{ in Millihenry.}$$

r = Radius der Leitung, d = Abstand der einzelnen Leitungen voneinander.

Bei Kabeln ist L_s kaum $^1/_5$—$^1/_{10}$ obigen Wertes und meist zu vernachlässigen.

Der Abfall durch Selbstinduktion ist pro Phase $2\pi n L_s J$, falls J der Strom pro Leitung und n die Periodenzahl ist.

Die Kapazität C ist pro km Doppelleitung (Luftleitung)

$$C = \frac{0{,}01207}{\log_{10} \frac{d}{r}} \text{ in Mikrofarad.}$$

Die Kapazität C_d einer Drehstromleitung pro km eines Zweiges ist

$$C_d = \frac{0{,}02414}{\log_{10} \frac{d}{r}} \text{ in Mikrofarad.}$$

Bei konzentrischen und 3fach verseilten Kabeln mag man folgende empirische Werte benützen (Herzog und Feldmann):

Konzentrisches Kabel (2000 Volt)	Kupferquerschnitt pro Zweig . . .	200	25	qmm,
	C pro km zwischen den Leitern . .	0,4	0,2	Mi.
	C pro km Außenleitung gegen Erde	0,7	0,4	Mi.
	Dreifach verseiltes Kabel: C pro km Leitung pro Zweig (10000 Volt) .	0,25	0,13	Mi.

c) Luftleitungen: Stangenabstand maximal in gerader Strecke bei Holzstangen 45 m bei 100—200 qmm, 40 m (häufig nur 30 m) bei 200—300 qmm, 35 m bei 300 qmm Gesamtkupferquerschnitt.

Bei größerem Abstand besonders starke Stangen oder Doppelstangen.

Bei Eisenstangen aus Fachwerk ist der Abstand 60—400 m.

Zopfstärke der Holzstangen $>$ 18 cm, sie sind 1,5—2,5 m einzugraben, Stangenlänge 8—20 m, bei Eisen 6—25 m.

Abstand der Leitungsdrähte in cm etwa $= 40 \sqrt[4]{E} > 50$ cm (E = Spannung in Kilovolt).

Isolatoren:

Spannung	1000	3000	12000	30000	50000 Volt,
Preis pro 100 Stück	50—20	70	200	500	1300 Mk.,
Preis pro 100 Stück mit Stütze	90—40	160	400	700	1600 Mk.,
Gewicht pro 100 Stück ohne Stütze	40—30	100	180	230	300 kg.

Porzellanrollen 1—8 Mk. pro 100 Stück.

Maste aus Holz pro Stück 10—15 Mk., samt Setzen 20—30 Mk., Streben und Anker pro Mast 2 Mk.; Holzmaste für Hochspannung mit Zubehör 50—80 Mk.; Eisenmaste (Mannesmannrohrmaste) 20—100 Mk., bei 24—100 kg Gewicht pro Mast und 4,7—8,7 m Länge; Armatur 20—60 Mk. pro Mast. Gittermast 15 m hoch und 1000 kg schwer 400 Mk (für 20 Leitungen). Sicherheitsdrahtkupplung 8—10 Mk.

Digitized by Google

pro Stück; 1 km Schutznetz 1000 Mk.; Mauerdurchführungsrohre 3—20 Mk. (Stück). Rohe Holzstangen pro cbm 20—30 Mk., imprägniert 10 Mk. mehr pro cbm.

Kupferpreise siehe S. 525. Montage siehe S. 528.

Ungefähre Kosten einer Fernleitung:

Querschnitt . . .	10	25	100	qmm
Preis pro km . .	800	1500	6000	Mk. ohne Maste,
Montagezuschlag .	25%	18%	5%	d. h. 250—300 Mk. pro km.

Allgemein bei geeigneter Hochspannung und 1000—5000 KW 5000—10000 Mk. pro km Leitung inkl. Maste.

Pro km Luftleitung ohne Kupfer kann man bei 20000—40000 Volt mit 3000—6000 Mk. rechnen (alles inbegriffen, auch Telephon etc.).

Einzelpreise pro km einer 20000 Voltleitung für 6 Drähte zu 8 mm Durchmesser:

	Holzmaste	Eisenmaste
Stangen samt Aufstellung .	1250 Mk. (35 Stück)	1860 Mk. (9 Stück)
Isolatoren	670 „	260 „
Verlegung	200 „	200 „
Expropriation	500 „	500 „
	2620 Mk.	2820 Mk.

Telephonleitung pro km 150—200 Mk., ein Hochspannungsblitzableiter 100 Mk., ein Freileitungsausschalter 200—500 Mk.

Für ein städtisches Netz mit Luftleitung kann man 250 Mk. pro angeschlossenes KW für Speiseleitungen und 70—100 Mk. für die Verteilungsleitungen rechnen.

d) Kabel. Tiefe der Kanäle zum Verlegen 60—80 mm mit Sandbett.

Kabelpreise pro km (durchweg Bleikabel):

Spalte 1	Querschnnitt		10	100	300	1000 qmm
„ 2	Einleiter blank	700 Volt	580	3200	8500	26800 Mk.
„ 3	Einleiter armiert	700 Volt	940	3800	9500	28300 „
„ 4	Zweileiter verseilt	700 Volt	1900	8300	22000	— „
„ 5	Zweileiter verseilt	3000 „	3300	11000	—	— „
„ 6	Zweileiter verseilt	12000 „	5400	12000	—	— „
„ 7	Dreileiter verseilt	700 „	2300	11000	29000	— „
„ 8	Dreileiter verseilt	3000 „	3900	14000	—	— „
„ 9	Dreileiter verseilt	12000 „	6500	17500	—	— „

Schachtkabel sind 5—10% teurer.

Für Spalte 2 ist der Preis pro km und qmm 60, 32, 28, 25 Mk. und das Gewicht pro km und qmm 60, 28, 20, 16 kg.

Digitized by Google

Das Kabelgewicht ist das x-fache des zugehörigen Kupfergewichts:

Querschnitt	10	100	300	1000 qmm
Für Spalte 2 (x = S. 519 unten)	8,8	2,9	2,1	1,8
„ „ 3	15,8	4,5	3,0	2,2
„ „ 4	16,3	5,1	3,4	—
„ „ 5	26	6,5	—	—
„ „ 6	43	8,7	—	—
„ „ 7	11,6	3,9	2,7	—
„ „ 8	19,7	4,9	—	—
„ „ 9	31	6,7	—	—

Preis pro kg Kabel:

Spalte 2 (S. 519 unten)	0,72	1,3	1,5	1,7 Mk.
„ 3	0,66	0,97	1,2	1,5 „
„ 4	0,67	0,94	1,2	— „
„ 6	0,71	0,95	—	— „
„ 9	0,07	1,05	—	— „

Pro kg Kupfer eines Kabels rechne man folgende Totalpreise:

Querschnitt	10	100	300	1000 qmm
Für Spalte 2 (S. 519 unten)	6,5	3,7	3,2	3,0 Mk.
„ „ 3	10,5	4,4	3,6	3,2 „
„ „ 4	10,5	4,7	4,0	— „
„ „ 5	18,5	6,2	—	— „
„ „ 6	31	8,2	—	— „
„ „ 7	8,6	4,2	3,5	— „
„ „ 8	15	5,3	—	— „
„ „ 9	24	6,7	—	— „

Kabelmuffen pro Stück 20—70 Mk. bei 25—1000 qmm; Verteilungskästen (montiert) 200—300 Mk. Montage der Kabel siehe S. 528.

Uppenborn setzt den Kabelpreis pro m Kabel = a + bq, wobei q der totale Querschnitt des Leitungskupfers in qmm:

	a	b
Verseilte Zweileiter (armiert) 1000 Volt	1,88	0,0285 Mk.
„ „ „ 10000 „	4,08	0,0405 „
Verseilte Dreileiter (armiert) 1000 „	2,40	0,0260 „
„ „ „ 10000 „	5,30	0,0323 „

Digitized by Google

Kabelverbindungen inkl. Material und Montage.

Querschnitt qmm	Muffen pro Stück Mk.	Lötstellen pro Stück Mk.
50	15	7 } einpolig
500	40	12 } einpolig

Zweipolige Muffen bezw. Lötstellen kosten das 1,3—1,6fache; einpolige Kabelabzweigungen kosten das 1,1—1,3fache der Spalte 2 oder 3.

Als Verteilungskabel verwende man etwa folgende Querschnitte:

In Straßen mit sehr starken Anschlüssen . . . 310 qmm } am besten auf beiden
In Straßen mit starken Anschlüssen . . . . . 150 „ } Seiten der Straße.
In Nebenstraßen . . . . . 70 oder 95 „
Für sehr schwache Anschlüsse . . . . 35 oder 50 „

Pro km städtische Verteilungskabel kann man 10000—20000 Mk. rechnen.

Für städtische Kabelnetze kann man 350 Mk. pro angeschlossenes KW oder 500 Mk. pro KW der Zentrale setzen, dabei sind die Anschlüsse eingerechnet; für Zähler schlage man noch 30 Mk. pro angeschlossenes KW zu.

Die Speisepunkte sind so zu wählen, daß die Kosten der Speise- und Verteilungsleitungen ein Minimum werden; der Abstand der Speisepunkte ist etwa 200 m (bei 110 Volt) bis 600 m (bei 500 Volt).

e) Leitungen für Innenräume (Niederspannung).

Preis pro 100 m.

Querschnitt		1	4	25	50	240 qmm
Blank	massiv	2,0	7,2	44	87	— Mk.
	Seil	—	8,4	44,5	90	430 „
Isoliert:						
a) 1 Umspinnung, 1 Umflechtung, 1 Tränkung (trockene Räume)	massiv	3,6	10	50,5	—	— „
	Seil (Litze)	—	12	51	101	455 „
b) Zwischen 2 Umspinnungen 1 Lage Paragummi umflochten und getränkt	massiv	6,0	14,0	62,5	—	— „
	Seil (Litze)	—	17,0	66	131	540 „
c) Bei besonders sorgfältiger Herstellung und mehrfachen Gummilagen steigt der Preis auf das 1,5—2,5fache von b.						
d) Zwillingsleitungen kosten etwas mehr als das Doppelte der Einfachleitungen.						
e) Für Schiffsbeleuchtung (Eisendrahtarmatur, Bleimantel)		60	80	185	310	— „

Digitized by Google

Ist das Kupfergewicht der Leitung 1, so wird das Gewicht mit Isolation für obige fünf Querschnitte:

bei a	1,6	1,3	1,15	—	—
	—	1,35	1,17	1,07	1,08
bei b	1,72	1,35	1,16	—	—
	—	1,45	1,22	1,18	1,15
bei e	80	25	8,3	5,7	—

Für den Fall c werden die Werte der Gewichte unter b größer und zwar statt $(1 + x)$ etwa $(1 + 1{,}5\,x)$ bis $(1 + 2{,}5\,x)$.

Eine andere Zusammenstellung gibt folgende Preise pro 100 m:

Querschnitt . .	1	10	100 qmm
Blank	1,3	12	130 Mk.,
Isoliert . . .	5	25	220 „
Gut isoliert . .	15	50	350 „
Kabel	25	55	350 „

Pro kg Kupfergewicht rechne man für isolierte Leitungen:

	1	200 qmm
In trockenen Räumen . .	6	2,5 Mk.
In feuchten Räumen . . .	9	4 „

Isolierrohre (mit Messingüberzug oder Stahlpanzer für Schiffe) kosten pro 100 m und pro 10 mm Durchmesser etwa 30—50 Mk.; der Durchmesser liegt zwischen 9 und 29 mm; Abzweigdosen dazu 0,50—1,50 Mk. Ohne Messingüberzug ist der Preis nur zwei Drittel, mit Stahlpanzer das Doppelte. Gußeiserne Abzweig- und Verteilungskästen 1—5 Mk. pro Stück.

Ist q der Leitungsquerschnitt in qmm, so kosten 100 m Leitung:

Blank . . . . ca.	$1{,}5\,q$ bis $1{,}7\,q$ Mk.,
Isoliert	$2\,q + 4$ bis $3\,q + 6$ Mk.,
Kabel bis 500 Volt .	$4\,q + 15$ bis $5\,q + 50$ Mk.,
Kabel bis 3000 Volt .	$6\,q + 100$ bis $10\,q + 200$ Mk.

Auf Schiffen werden die Leitungen in Stahlrohre oder als Kabel verlegt.

19. Elektromotoren (Gleich- oder Drehstrom).

Wirkungsgrad von 5 PS aufwärts 80—90%, über 100 PS 90—93%, cos φ von Drehstrommotoren 0,80—0,95, bei geringen Tourenzahlen und hohen Periodenzahlen der kleinere Wert.

Tourenzahlen u siehe Bd. I, S. 11 oder etwa folgende:

PS	½	1	5	50	500
u	1500	1400	1000	600	250—150

Digitized by Google

	PS	½	1	5	50	500	
Ganz angenähert	Preis pro PS .	500—250	300—170	150—100	80—40	50—30	Mit 2 Lagern und Wellenstumpf
	Gewicht pro PS	120—50	100—40	50—20	40—20	30—15	
	Länge mm . .	400—250	500—300	700—600	1500—1000	2500—2000	
	Breite mm . .	350—250	400—300	500—450	1000	4000—2300	
	Größter Durchmesser oder totale Höhe mm	350—250	400—300	550—450	1100	3600—2500	Übliche raschlaufende Typen. Für langsamlaufende Typen steigen Preis und Gewicht um 50—100%
	Grundfläche pro PS . . .	28—12	20—9	7—5	3—1	2—0,9 qdm	
	Preis pro kg .	4—5	3—4	3	2	1,8—1,2 Mk.	

Einphasenmotoren sind 20—40% teurer und schwerer. Ein einphasiger Induktionsmotor kostet z. B. bei 5 PS 750 Mk., ein einphasiger Kommutatormotor aber 1200 Mk.

Riemen- und Seilscheiben siehe S. 491.

Stationäre Drehstrommotoren sind meist etwas leichter und billiger als Gleichstrommotoren. Die äußeren Durchmesser d_a der großen Motoren kann man angenähert aus folgender Ueberlegung bestimmen: Umfangsgeschwindigkeit des Rotors 20 bis 35 m/Sek., daraus Rotordurchmesser und dazu 0,6—1,2 m ergibt d_a.

Kapselmotoren werden bei Dauerbetrieb für dieselbe Leistung 20—30% teurer, bei intermittierendem Betrieb Preis der offenen Motoren. Motoren mit Zahnradvorgelege kosten das 1,3—1,8fache der einfachen Motoren.

Anlasser 20—5 Mk. pro PS bei 2—500 PS; Oelanlasser 20—50% mehr; Flüssigkeitsanlasser 20% weniger; Regulier- und Wendeanlasser 50—100% mehr; selbsttätige Anlasser für 2—10 PS 600 Mk.; Kontroller und Kohlenanlasser für 2 bis 10 PS 150—300 Mk., für 50 PS 700—1000 Mk.

Eine Motorschalttafel oder ein Schaltkasten für 10—20 PS 100—150 Mk.; für 100 PS 250—400 Mk.

Für ganze Anlagen mit Elektromotoren rechnet man komplett:

PS	1	5	100
Preis pro PS	500	250	80—100 Mk.
Gewicht pro PS . . .	200	100	60 kg.

20. Installationsmaterialien.

a) Bogenlampen: 30—100 Mk. pro Stück bei 2—30 Ampere und 3—15 kg Gewicht; dazu Aufzugwinde 10 Mk.; 1 Wandarm 30 Mk.; 1 Mast 40—500 Mk.; Widerstände dazu 20—50 Mk., Transformator dazu 50—100 Mk.; Scheinwerfer 200—400 Mk.

Digitized by Google

Bogenlampenkohlen:

100 m bei einem Durchmesser .	4	10	20 mm,
Preis	10	25	80 Mk.

Effektkohlen das Doppelte.

b) Glühlampen: 35—60 Pf. pro Stück für 110—150 Volt und 5—32 NK, bei 220 Volt 0,9—1,2 Mk.; für 200—400 NK 10—20 Mk. pro Stück; Nernstlampe 15—20 Mk., Brenner 1—2 Mk.; Osmiumlampe 5 Mk. Glühlampenfassung 0,5 bis 1,5 Mk.; Wandarm oder Stehlampe 1—30 Mk.; wasserdichtes Glühlampengestell 2—6 Mk.; Schnurzugpendel (ohne Fassung) 4—10 Mk.; Hängearm (Pendel) 1—15 Mk.; Doppelhängearm 5—10 Mk.; Krone (dreiarmig) 15—100 Mk. — 1 Stück Zirkonlampe 1,50 Mk., 1 Stück Tantallampe zu 25 NK 4 Mk.

c) Elektrischer Ofen für 1—5 KW 50—150 Mk.; Kochtopf für 0,5 l ca. 20 Mk.; für 5 l 40 Mk.; Bügeleisen 25 Mk.; Kaffeemaschine 35 Mk.; Teekanne 30 Mk. (alles elektrisch betrieben).

d) Drehschalter 1—2 Ampere 0,5—1,5 Mk., Steckkontakt bis 6 Ampere 1—2 Mk.

Einpolige Hebelschalter bis 500 Volt:

Ampere . .	5	50	400	2000	Zweipolig das Doppelte.
Mk. . . .	5	8	50	250	Dreipolig das Dreifache.

Oelschalter: 50 Ampere und 4000 Volt 80 Mk. zweipolig, dreipolig 10% mehr; 300 Ampere und 6000 Volt zweipolig 500 Mk., dreipolig 700 Mk.; 100 Ampere und 25000 Volt dreipolig 2000 Mk.; automatisch 200—1000 Mk. mehr.

Automatische Schalter (600 Volt Gleichstrom):

Ampere . . .	100	1000	10000
Mk.	200	700	5000

Umschalter kosten 1,5—2mal so viel wie Schalter.

e) Einpolige Sicherungen bei 10 Ampere und 250 Volt 0,2 Mk., bei 100 Ampere 500 Volt 1,8 Mk.; bei 500 Ampere 25 Mk., zwei- und dreipolige Sicherungen das 2- und 3fache; Verteilungstafel pro Stromkreis 5 Mk.

f) 1 Voltmeter, 1 Amperemeter, 1 Wattmeter je 50—150 Mk. (einfache Konstruktion); 1 Zähler 70—300 Mk. bei 5—400 Ampere; 1 Meßtransformator 100 bis 300 Mk.

g) 1 Fernsprecher 20—100 Mk.; 1 Primärelement 2—4 Mk.; 1 Klingelgarnitur 4 Mk.; 1 Blitzschutzvorrichtung (samt Zubehör) 20—100 Mk. bei 500 bis 10000 Volt.

Auf 10000 Einwohner eines städtischen Netzes kommen 100—300 Zähler, pro installiertes KW 0,5—0,9 (Mittel 0,7) Zähler.

h) 1 medizinischer Anschlußapparat 800 Mk., 1 elektrisches Glühlichtbad 450 Mk.

Digitized by Google

21. Materialkosten.

	Preis pro kg Mk.	Spez. Gew.	
Roheisen	0,05—0,12	7,2	
Grauguß unter 1 kg	0,35	7,2	Hängt noch von der Art des Stückes ab. Mit Kern teurer als ohne Kern.
„ bis 250 kg	0,25—0,18	—	
„ über 2000 kg	0,17—0,15	—	
Dynamogußstahl bis 5 kg	1,0	7,8	
„ bis 100 kg	0,45—0,8	—	
„ über 500 kg	0,29—0,33	7,8	
Schmiedbarer Guß	0,58—0,65	7,7	
Schmiedeisen	0,15—0,25	7,8	
Stabeisen, Schienen, Walzdraht	0,13	7,8	
Ueberpreis 10—70 %.			
Kesselblech	0,13—0,17	7,8	
Wellblech (2—6 mm dick)	0,2—0,25		
Dynamobleche 1000 × 2000 mm	—	7,8	
„ 0,35 mm stark	0,27	—	
„ 0,50 „ „	0,23	—	
„ 0,80 „ „	0,20	—	
Tafeln > 1150 mm gegen Ueberpreis.			
Eisendraht	0,3—0,4	7,8	
Verzinkter Eisendraht	0,3—0,6	—	
Stahl (Siemens Martin).			
Grundpreis	0,15	7,8	
Ueberpreis 60 mm Durchmesser	0,01	—	
„ 150 „ „	0,07	—	
Wellenstahl Grundpreis	0,22	—	
Ueberpreise	0,01—0,05	—	
Extra guter Stahl (Kruppstahl)	0,32—0,40	—	
Nickelmanganstahl	1,7	—	
Stahldraht	2,0—6,0	7,8	
Bronze	1,5—2,0	8,8	
Rotguß	1,9	8,5	
Messingguß	1,5	8,3	
Kupferguß	2,0	8,8	
Zinkguß	1,45	7,1	
Phosphorbronzeguß	1,6—2,0	8,0	
Weißmetall	1,0—2,45	9,5	
Siliciumbronzedraht	2,1—2,50	9	
Aluminiumbronze	1,5—2,00	—	
Kupfer, gezogen.			
Grundpreis	1,35—1,60	8,9	
Ueberpreise.			

Digitized by Google

	Preis pro kg Mk.	Spez. Gew.	
Draht 1,4 mm Durchmesser und mehr . .	0,13	—	Blank.
1,0—1,4 mm Durchmesser	0,20	—	
0,2—1,0 „ „	0,35—0.25	—	
0,1—0,2 „ „	0,75—0,45	—	
Drähte im Durchschnitt } totaler Preis . .	1,65—2,00	—	Umsponnen.
Litze „ „ } totaler Preis . .	2,05—2,5	—	
Stangen } Ueberpreis . . .	0.10—0,15	8,9	
Kommutatorsegmente } Ueberpreis . . .	0,28	8,9	
Segmente fertig geschnitten	3,0	—	
Mehrpreis für verzinnte Drähte	0,15—0,30	—	
Asphaltierte Drähte	2,5	—	
Messing.			
Grundpreis	1,1—1,5	8,6	
Ueberpreise	0,05—0,20	—	
Nickelinbleche, Neusilber	3,0	8,5—8,8	
Verschiedene Widerstandsdrähte[1])	3—15	—	
Aluminium	2,0—2,4	2.7	
Zinn	2,6	7,3	
Lötzinn	1,6—2,0	—	
Blei	0,25—0,35	11,3	
Magnalium	8,4	2,5	
	pro cm³		
Kohlen für Bürsten	0,01—0,1	—	
Messing- oder Kupfergewebe für Bürsten .	0,05—0,1	—	
	pro kg		
Fertige Schrauben	1,0—0,4	—	
„ Schmiedestücke	0,25—0.8	—	
Marmor je nach Dicke (20—50 mm) und	pro qm		
Qualität	10—40	2.7	
Schiefer (30 mm dick)	10	2,7	
„ (20 „ „)	6—9	—	
	pro cbm		
Holz	10—20	0,5—0,75	
	pro m		Ungefähr proportional der Breite.
Riemen pro 100 mm Breite	2,5—6	—	
	pro kg		1 cm³ wiegt ∽ 1 g.
Hanf- und Baumwollseile	1,0—2,0	—	
	pro Liter		
Transformeröl pro Liter	0,4	0,9	
	pro kg		
Lötwasser	0,35	—	
Asbest 1,0—0,1 mm stark	0,4—1,2	2,4	
Asbestpapier	1,4—2,4	—	
Fiber, Platten	1,7—2,5	2,5	
„ Stangen und Röhren	7,5—8,0	—	

[1]) Rheotan z. B. 4,2 Mk.

Digitized by Google

	Preis pro kg Mk.	Spez. Gew.
Isolierband	7,0	—
„ pro Rolle 1—2 Mk.		
Glimmer, roh in Streifen	1,7—2,8	3,0
„ in großen Scheiben nach Maß	20—30	—
„ als Kollektorlamellen	4—30	—
Mikanit	5—6	—
Mikanitleinen und Mikanitpapier	5—8	1,2—1,8
Leatheroid	2,3	—
Ambroin	—	1,6
Papier, Seiden-	0,5	0,9
Manilapapier	0,45	—
Rotpapier	1,05	—
Papier für Ankerbleche	0,70	—
Japanpapier	0,3	—
	pro 100 m	
Leinenband 0,3 mm stark, 23 mm breit	3,5	—
	pro m²	
Isolierleinen	2	—
	pro m	
Grauleinen 85 cm breit	0,8	—
Segeltuch 100 „ „	0,9—1,2	—
	pro 800×600 mm	
Preßspan 0,2 mm dick	0,16	1,4
„ 1,0 „ „	0,43	—
	pro kg	
Mikanisierter Preßspan	2—3	—
Vulkanasbest als Spulen	2,0—4,8	—
Weichgummi	6,0	1,5
Stabilit	4,5—5,5	—
Paragummiband	15	—
Hartgummi und Eisengummi	7,5	—
Paraffin	0,65—2,0	—
Megohmit	7—8	2—2,5
Glimmerpapier	7,0—8	1,5—1,9
Lacke:		
Emaillack, Armalack Sticker, Japanlack S. Lack, Tauchlack	1,0—3,0	—
Leinölfirnis, Leinöl	0,75	—
Schellack	3,0	—
Terpentinöl	0,7	—
Chatterton-Compound	5—8	—
Asphalt	0,05—0,20	—

Digitized by Google

22. Montage, Unkosten, Fracht etc., Liefertermine.

a) Montagepreise:

Generatoren und Motoren ohne Leitungen . .	PS	1	20	100	500
	Mk.	20	30	50	70
Transformatoren ohne Leitungen	KW	50	300	1000	—
	Mk.	12	20	40	—

Schalttafeln pro Feld 50 Mk.; 1 Schalter oder 1 Sicherung 3—8 Mk.

Leitungen pro m Draht, im Innern 0,3 Mk.; unter Verputz 0,5 Mk.; im Freien 0,1—0,2 Mk. 1 Holzmast stellen 3—10 Mk., 1 Gittermast 6—15 Mk. Bahnleitungen pro m 0,3 Mk.

Kabel: Aufgraben und Zuschütten 1—10 Mk. pro m, Kabelverlegen 0,2 bis 0,4 Mk. pro m; total 1,2—2 Mk. pro m, bei Pflaster und Asphalt 3—12 Mk. pro m.

Lampen: 1 Glühlampe 3 Mk., 1 Straßenlampe (Glühlampe) 5 Mk., 1 Bogenlampe 20—30 Mk.

Gesamte elektrische Montage eines elektrischen Motorwagens 200—500 Mk.

Montage einer Akkumulatorenbatterie pro Element 2—6 Mk.

Montage der Dampfmaschinen 5—8 % des Preises, der Dynamos 2—5 %, des übrigen Teils elektrischer Anlagen 10—20 % des Anschaffungspreises; Montage der Akkumulatoren 3—10 % des Kaufpreises.

Pro Monteur und 10 Stunden sind 7—15 Mk., für einen Hilfsarbeiter 3—7 Mk., für einen Maurer 4—6 Mk. zu rechnen.

Fertig installiert kostet samt Material:

1 Glühlampe oder 1 Stechkontakt 10—30 Mk.,
1 Bogenlampe 100—150 Mk., pro 10 Ampere Straßenbogenlampe rechne man samt Kabel und Schaltapparate 1000 Mk.,
die Installation einer Glühlampe mit Zubehör kostet an sich 6—15 Mk.,
der Beleuchtungskörper 2—25 Mk.

b) Baukosten für Ueberwachung und Nebenarbeiten: 2½—5 % der übrigen Bausumme oder 40—50 Mk. pro PS Zentralenleistung.

Mobilien: ½ % der übrigen Bausumme oder 4—5 Mk. pro PS Zentralenleistung.

c) Verpackung: Die Brutto- oder verpackten Gewichte sind bei kleinen Maschinen 20—30 % größer als die Nettogewichte, bei großen Typen 5—10 %. Der Preis der Verpackung ist 1—3 % des Maschinenpreises, bei Apparaten meist 5—10 %.

d) Frachten: Fracht pro 100 kg als Wagenladung 5—4,5 Mk. pro 1000 km, ca. 0,6—0,55 Mk. bei 100 km, Stückgut das Doppelte und Eilgut das Doppelte vom Stückgut; Schiffsfrachten sind wesentlich billiger, besonders Seefrachten.

Auf Chausseen 3—7 Pf. pro 100 kg und km.

e) Zölle auf Maschinen, Dynamos und Apparate (jeweils der geringere Satz für Gußeisen, der höhere für Kupfer):

Digitized by Google

α) Gewichtszölle: Belgien auf 100 kg 2—12 Mk., Frankreich 12—60 Mk. (unter 50 kg sogar 100 Mk.), Italien 10—25 Mk., Oesterreich-Ungarn 10—20 Mk., Rußland 50—150 Mk., Schweden 10 Mk., Schweiz 4—10 Mk., Spanien 10—50 Mk.

β) Wertzölle: Deutschland 3—8 %, Norwegen 5 %, Portugal 20—50 %, Vereinigte Staaten von Nordamerika 45 %, Kanada 25 %, Japan 10 %, China 5 % des Wertes der Ware.

γ) Frei: Bulgarien, Griechenland, Großbritannien, Niederlande, Rumänien, Serbien, Türkei, Chile, Bolivia.

f) Liefertermine:

Kleine Maschinen und Motoren bis gegen 100 PS (auf Lager)	1—2 Wochen.
Normale Maschinen von 50—500 PS (neu angefertigt) . . .	2—4 Monate.
Große Maschinen	6—12 „
Schalttafeln	1—3 „
Zeit zum Bau einer kleinen Zentrale inkl. Gebäude	5—10 „
„ „ „ „ großen „ „ „	12—24 „

g) Zahlungsmodus: z. B. 1/3 nach Abschluß des Vertrags,
1/3 nach Fertigstellung,
1/3 nach 1/2jährigem Betrieb.

23. Arbeitsmaschinen und Hebezeuge.

a) Werkzeugmaschinen:

Tragbare Bohrmaschine (elektrisch) 1/2 PS 140 Mk. und 10 kg, 3/4 PS 380 Mk. und 50 kg, je samt Motor.

Fahrbare Bohrmaschine (elektrisch) 1/2 PS 600 Mk. und 100 kg, 3 PS 1100 Mk. und 240 kg, je samt Motor.

Bohrknarre 10—20 Mk.; Parallelschraubstock 10—100 Mk.

Drehbank:

Spitzenhöhe	120	300	800	Für elektrischen Antrieb 10—20 % mehr.
Drehlänge	500	5000	7 000	
Mark	400	4000	15 000	
Mark/kg	2	0,8	0,6	

Hobelmaschinen:

Für Stücke . . .	1000 × 600 mm	8000 × 2000 mm
Mark	1500	10 000
Mark/kg	0,75	0,40

Kaltsäge 500 mm Durchmesser 1100 Mk., d. h. pro kg 1,2 Mk.

Shapingmaschinen:

Hub	100	600 mm
Mark	800	8000
Mark/kg	0,9	0,7

Digitized by Google

Kleine Wandbohrmaschinen 20—150 Mk.

Elektrische Radialbohrmaschine: Bohrweite 80 mm, Bohrtiefe 250 mm 2500 Mk., 0,8—1,2 Mk./kg.

Nutenstanzmaschine (Dynamobleche) 1000—2000 Mk., kleine Spindelpressen 100—400 Mk., Kreisschere 100—1000 Mk.

Fräsmaschinen:

Tisch	430 × 160	1200 × 350 mm
Preis Mark . . .	550	2700
Mark/kg	1,5—1,8 Mark/kg.	

Hämmer 0,5—1 Mk. pro kg Gesamtgewicht; pro kg Bärgewicht 20—100 Mk.

Schmirgelschleifrad: 500 mm Durchmesser 350 Mk., 0,9 Mk./kg.

Blechschere:

Schnitt	12 × 250	24 × 350 mm
Mark	700	1900

Feldschmiede 80—200 Mk.

Holzbearbeitung: Kreissäge 6 PS 1000 Mk., d. h. 0,7 Mk./kg,
Hobelmaschine 8 PS 2000 Mk., d. h. 0,8 Mk./kg,
Bandsäge 500 Mk.

Spulenwickelmaschine 350—2000 Mk. (dazu ½—1 PS-Motor).

Elektrische Gesteinsbohrmaschine 1500—3000 Mk.

b) Ventilatoren und Pumpen:

Ventilator oder Exhaustor (ohne Motor) ½ PS 500 Mk.; 3 PS 1100 Mk.; 30 PS 2000 Mk.

Zimmerventilator $^1/_{20}$ PS 50—60 Mk. samt Motor.

Schmiedegebläse 0,2 PS 50 Mk., 5 PS 1000 Mk., pro kg 1,6—0,7 Mk.

Kolbenpumpen:

Q	3	30	3	30	750	cbm/Stde
Höhe	20	20	100	100	60	Meter
PS	0,4	3,3	1,8	16,5	—	
Preis samt Motor .	450	1200	500	2400	58 000	Mark
Platz	0,8 × 0,9	1,4 × 2,2	0,8 × 1,2	1,8 × 3,7	—	qm

Zentrifugalpumpen:

Q	80	1000	10 000	Liter/Minute.
Höhe	35	35	35	Meter,
Preis	220	1100	7 200	Mark ohne Motor.

1 kg Pumpe kostet 1,2—0,7 Mk.

Digitized by Google

c) Hebezeuge:

Personen- oder Warenaufzug mit 3 PS-Motor 3500 Mk., mit 7 PS-Motor 5000 Mk.

Drehkran für 1000 kg (3 Motoren zu 6, 4, 1 PS) 5000 Mk., für 5000 kg (12, 7 und 2 PS) 15000 Mk.

Laufkran für 3000 kg (3 Motoren zu 10, 5, 1 PS) 7000 Mk., für 30000 kg (30, 10, 3 PS) 15000 Mk. Pro t Tragkraft rechne man 4000—800 Mk. und 2,5—1 t Eigengewicht, pro kg Eigengewicht 1,3—1 Mk.

Flaschenzug 500 kg 60—100 Mk.,
10000 „ 350—750 „
1 Bauwinde für 500 kg 75 Mk. (0,6 Mk./kg),
7500 „ 500 „ (0,5 „),
Kleine Laufkatze 500 kg 120 Mk.,
5000 „ 300 „
Drehscheibe kleine 2 m Durchmesser 400 Mk.,
große 6,5 „ „ 30 t 10000 Mk.

d) Elektrische Kranausrüstung (Gleichstrom oder Drehstrom):

Motor	PS	2	10	50	
Motorpreis	Mk.	400	1200	2500	ohne Vorgelege.
Kontrollerpreis	„	300	400	800	bei 220—500 Volt.
Preis des Widerstandes . .	„	40	40	120	
Bremsmagnet	„	150	200	300	
Laufkrankontaktvorrichtung .	„	300—800			
Drehkrankontaktvorrichtung .	„	100—300			
Schalttafel	„	100—300			
Kabelmaterial	„	150—1500			
Grenzschalter	„	80—150			
Anschlußkästen	„	100—200			

e) Elektrisches Akkumulatorenboot für 700 kg und 9 km/Stunde Preis 5500 Mk.; für 3000 kg und 12 km/Stunde 15000 Mk.

Elektrischer Beleuchtungswagen pro PS 1000 Mk. (meist 6—10 PS).

Magnetischer Erzscheider 200—400 Mk.

Die Preise vieler Arbeitsmaschinen finden sich in Jolly, Technisches Auskunftsbuch, ferner in Häder, Kalkulieren.

24. Betriebskosten.

a) Totale Betriebskosten = Verzinsung des Kapitals + Abschreibung (Tilgung) + Reparaturen und Unterhaltung + reine Betriebskosten (Brennmaterial, Gehälter etc.).

Digitized by Google

Verzinsung = 3,5—5 % des Anlagekapitals.

	Abschreibung in % des Anlagekapitals	Reparaturen und Unterhaltung in % des Anlagekapitals
Hoch- und Tiefbau	2	0,5—1
Dampfmaschinen und Kessel . .	5	2
Gasmotoren und Gasanlagen . .	7	3
Wasserturbinen	5	2
Dynamos und Transformatoren .	5	2
Akkumulatoren	10	5
Apparate und Schaltanlagen . .	4	2
Freileitungen	4	4
Kabel	7	1
Innenleitungen	5	1
Zähler	8	1
Rollmaterial (Bahnen)	8	3
Talsperre	2	1

Verzinsung, Abschreibung und Unterhaltung total = 5—15 %.

Die Jahresprämie der Akkumulatoren beträgt 10—5 % des Anschaffungspreises, auf Grund desselben wird die Batterie innerhalb 10 Jahre stets kostenlos in stand gehalten.

Einlage in den Reservefonds etwa 1 % des Anlagekapitals, bis Reservefond = 20—50 % des Anlagekapitals.

b) Jährliche Energieabgabe:

Auf 10000 Einwohner, die zu einer städtischen oder einer Ueberlandzentrale gehören, sind pro Jahr zu liefern:

20000—400000 KW-Stden für Licht, selten über 100000 (Mittel 30000—60000), Zuschlag von 5—20 % für Straßenbeleuchtung;
10000—100000 KW-Stden für Kraft (Mittel 30000—60000; in Industriezentren 100000—1000000);
50000—300000 KW-Stden für Straßenbahnen oder
50000—300000 KW-Stden total (meist 60000—150000).

Bei einem ausgebildeten Vorortnetz, wie in Amerika, kommen sogar bis 700000 KW-Stden für Bahnen in Frage.

Zuschlag für Eigenverbrauch der Zentrale $^1/_{10}$—1 %.

Von der gesamten Energie liefern die Akkumulatoren 5—60 % (Mittel 20—40 %).

Jährliche Benützungsdauer:

Motoren häufig 3000 Stden (10 Stden pro Tag), seltener 1000—2000 Stden oder 8700 (24 Stden pro Tag).

Lampen im Mittel 700—1000 Stden:

In Hotels	1000 Stden	
Bahnhöfen, Postbureaus, Restaurants .	1500 „	(1000—2500)
Theater	150—500 „	
Läden	300—700 „	

Digitized by Google

Wohnungen	100—700	Stden
Banken, Bureaus	150—600	„
Fabriken	200—700	„
Schlafzimmer, Aborte	100—300	„
Kirchen, Schulen	30—300	„
Keller	150	„
Krankenhäuser	100—500	„
Straßen halbnächtig (bis 11 Uhr)	1200	„
Straßen ganznächtig	3000—4000	„

(800—4000).

Nimmt man die installierten KW an Motoren voll, so ergeben sich pro Jahr häufig nur 500—1000 Stden; für die Lampen 300—500 Stden; im ersten Fall unter Annahme von ½ Last und 70% gleichzeitigem Betrieb etwa 1500—3000 Stden, im zweiten bei 50% gleichzeitigem Betrieb etwa 700—1000 Stden.

Allgemein mittlere Benützungsdauer jedes installierten KW 200—2000 Stden (Mittel 300—400, bei Zentralen mit Bahnanschluß 500—600 Stden).

Die Statistik ergibt für Beleuchtung eine mittlere Benützungsdauer von 250 bis 400 Stden pro Jahr, für gewerbliche Zwecke eine mittlere Benützungsdauer von 400—600 Stden pro Jahr.

c) Brennmaterialien und Zubehör.

α) Dampfverbrauch der Dampfmaschinen und Dampfturbinen.

Bei PS_e	
10	1000
30	10 kg Dampf pro PS_e und Stunde ohne Kondensation
16	8 kg Dampf pro PS_e und Stunde mit Kondensation

Bei großen Maschinen sinkt der Dampfverbrauch auf 5—7 kg pro PS_e-Stde.

Pro KW-Stde beträgt der Dampfverbrauch größerer Typen bei Kondensation 12—6,5 kg für Volllast, für ½ Last 12—25% mehr.

β) Kohlenverbrauch pro PS_e-Stunde:

Type	kg gute Kohle
Auspuff, einzylindrig bis 100 PS	1,5—5 (einschließlich Auspuffturbinen)
Mit Kondensation einzylindrig 100 PS	1,5—1,2
Zweizylindrig 200 PS	1,2—1,0
Zweizylindrig 1000 PS	0,8
Große Maschinen und Turbinen	0,8—0,5

Bei Braunkohle 2—3mal mehr.

Für jedes Anheizen schlage man 15—30% zu oder besser 3 kg pro qm Heizfläche.

Pro KW-Stde hat man in größeren Anlagen mit 0,7—1,5 kg guter Kohle zu rechnen. Pro 1000 installierte HW setze man 100000 PS-Stden im Jahr oder 20 Waggons Kohle zu je 10000 kg im Jahr.

Pro kg Müll kann man auf 0,8—1,5 kg Dampf rechnen (es ist aber zu beachten, daß der Verbrauch für Ventilatoren und Hebezeuge abzuziehen ist). Pro Tonne Müll ergeben sich 30—130 KW-Stden oder auf jede Tonne Müll pro 24 Stden 2—6 KW Maschinenleistung.

Digitized by Google

Brennmaterialkosten pro PS_e-Jahr (16 Mk. pro Tonne Kohle):

Einzylinder				Zweizylinder				Dreizylinder	
Schnellläufer		Geringe Touren		Schnellläufer		Geringe Touren		Hohe	Geringe
ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	Touren	
Kondensation				Kondensation					
202	134	202	134	134	85	134	85	70	70 Mk.

Die Kondensation erfordert 15—30 kg Wasser pro kg Dampf bei Einspritzkondensation und 50 bei Oberflächenkondensation, wozu noch 20—7 kg Speisewasser pro PS_e-Stde kommen.

Kohlenverbrauch einer Bahnzentrale ohne Pufferbatterie und ohne Kondensation: 5 kg pro KW-Stde, mit Batterie 3,2 kg und außerdem mit Kondensation 2,3 kg pro KW-Stde.

γ) Gasmotoren:

PS	5	25	100	1000
Kohlenverbrauch [1])	0,8	0,65	0,55	0,4 kg pro PS_e-Stde (Anthrazit, Koks 10—20% mehr, Torf das 2—2,5fache).
Kraftgas	3,3	2,8	2,3	— cbm pro PS_e-Stde
Leuchtgas . . .	0,8—0,5	0,7—0,4	0,6—0,35	0,5 „ „ „
Wassergas . . .	0,85	0,7	0,6	0,3

oder auch 0,3—0,25 kg Benzin, 0,5—0,2 kg Petroleum oder 0,5—0,4 kg Spiritus oder Benzol pro PS_e-Stde, Rohöle für den Dieselmotor 0,2—0,2 kg pro PS_e-Stde, ferner 3,5—2,2 cbm Hochofengas [2]) pro PS_e-Stde. Zuschlag für das Anfahren 10—20%. Pro 1000 angeschlossene HW rechne man auf 10 Waggons (zu 10000 kg) Kohle pro Jahr für Kraftgas oder 25000 l Petroleum. In Kraftgasanlagen kann man pro verkaufte KW-Stde auf 1,2 kg Koks rechnen.

Kühlwasser: 35—60 kg pro PS_e-Stde, Dieselmotor 15 kg pro PS_e-Stde. Wasserverbrauch für Kraftgas- und Sauggaserzeuger 5—10 kg pro PS_e-Stde.

δ) Pro WE der verwendeten Kohle oder des Gases werden nutzbar abgegeben: 0,02—0,1 Wattstden, im Mittel 0,03—0,05; bei Leuchtgas bis 0,2 Wattstden. Erzeugt werden pro WE 0,04—0,16 Wattstden.

Pro kg Kohle (7000 WE) werden im Mittel 300 Wattstden erzeugt und 200 Wattstden nutzbar abgegeben; bei Braunkohle (4500 WE) sind dieselben Zahlen 200 und 150 Wattstden.

ε) Oelverbrauch 0,40—0,10 Pf. pro PS_e-Stde, bei Dampfturbinen [3]) etwa $^1/_3$ davon, bei Gasmotoren 20—50% mehr, bei Großgasmotoren 1—2 g/PS_e-Stde.

[1]) Zur Erzeugung von Kraft- oder Wassergas.

[2]) Das Reinigen von 1000 cbm Hochofengas kostet 15 Pf.

[3]) Das Oel für Dampfturbinen ist teurer als für Kolbenmaschinen, was aber in dem Wert $^1/_3$ enthalten ist.

Digitized by Google

Die Oelkosten sind bei Kolbenmaschinen 7—20% der Kohlenkosten, bei Turbinen nur 0,5—2%.

Putzmaterialien, Packungen etc. 0,12—0,04 Pf. pro PS_e-Stde.

d) Preise: 1000 kg Kesselkohle (7000 WE) kosten 10—25 Mk., im Mittel 14 Mk., Anthrazit (8000 WE) 20—35 Mk., Braunkohle 5—10 Mk., 1 cbm Torf 6 Mk., 1 cbm Leuchtgas 12 Mk., 100 kg Benzin 25 Mk., 100 kg Petroleum 20 Mk., 100 kg Spiritus 24 Mk., 100 kg Benzol 20 Mk., Rohöle (Paraffinöl) für den Dieselmotor pro 100 kg 10 Mk.; 1 cbm Wasser 0,10—0,02 Mk.; 1 cbm gute Kohle wiegt ca. 800 kg; 100 kg Schmieröl 50—80 Mk.; 1 kg Putzwolle 50—80 Pf., 1 kg Putzlappen 10—40 Pf.

Gichtgas pro PS_e-Stde 0,6—0,8 Pf. bei Volllast gegen 1,4—2,4 Pf. pro PS_e-Stde Dampf.

Heizwerte: Pro kg Steinkohle 8000—6500 WE, Koks 7200 WE, Braunkohle 5000—2500 WE, Torf 4500—2500 WE, Petroleum und Benzin ca. 10000 WE, Spiritus 5000 WE; pro cbm Leuchtgas 5500 WE, Kraftgas 1200 WE, Wassergas 2400 WE, Hochofengas 900 WE. Spez. Gewicht: Steinkohle (Braunkohle) 1,2—1,5, Anthrazit 1,4—1,7, Koks 1,4, Holz, frisch 1,0, trocken 0,5—0,9; Benzin 0,7, Petroleum 0,8, Benzol 0,9, Schmieröl 0,9; Leuchtgas 0,40 (bezogen auf Luft = 1, Luft = $^1/_{773}$ auf Wasser). Pro 10000 WE erzeugt man 8—12 kg Dampf. Pro kg Müll erhält man 500—2000 WE, im Mittel 1000 WE; die Brennmaterialkosten sind bei Müllverbrennung nicht günstiger als bei Kohlenfeuerung.

e) Gehälter pro Jahr:

Direktor	5000—20000 Mk.
Kassierer oder Buchhalter	2000—4000 „
Schreiber	1500—2500 „
Bursche und Gehilfe	800—1500 „
Betriebsingenieur	2500—6000 „
Maschinisten	2000—3500 „
Schalttafelwärter	1500—3000 „
Heizer	1200—2000 „
Hilfsmaschinisten und Hilfsheizer	700—2000 „
Handlanger und Taglöhner	600—1000 „
Monteur	1200—2500 „

In Amerika sind diese Beträge etwa doppelt so hoch.

Löhne pro Tag 2—3 Mk. (Taglöhner), 3—7 Mk. (gelernte Arbeiter).

Gesamte Bedienung und Verwaltung 50—10 Mk./KW Zentralenleistung.

Bis 20 PS nur 1 Wärter für Maschine und Kessel, bis etwa 200 PS 1 Maschinist und 1 Heizer pro Schicht.

Pro 1000 KW kann man in einer städtischen Zentrale auf 2—3 Maschinisten, 2 Hilfsmaschinisten, 2 Heizer, 2 Hilfsheizer und 2—5 Monteure rechnen. Zum Bedienen von 80—100 Bogenlampen benötigt man je einen Mann.

Steuern, Versicherungen, Mieten etc. 5—10% der übrigen Betriebskosten.

f) Ersatz der Glühlampen bei 3 Watt/NK nach 600 Stden, bei 2,5 Watt/NK nach 300 Stden, der Osmiumlampen nach 600 Stden, der Nernstlampen nach 300 bis 500 Stden.

Ersatz der Bogenlampenkohlen nach 5—20 Stden bei offenem Bogen, nach 100—200 Stden bei eingeschlossenem Bogen.

Kosten für Bogenlampenkohlen 1—1,6 Pf. pro Brennstde bei 5—20 Amp., bei eingeschlossenem Bogen etwas weniger.

Glühlampen 0,40—1,20 Mk. bei 110—220 Volt pro Stück.

Digitized by Google

g) Betriebsausgaben der Zentrale pro nutzbare KW-Stunde:

Brennmaterial	2,5—14 Pf.	{ Mittel 5—8 Kleinster Wert 1,5
Schmier- und Putzmittel, Packungen	0,1—1,5 „	Mittel 0,8
Wasser	0,1—2 „	„ 0,5
Gehälter, Löhne, Verwaltung	1—10 „	„ 5
Verzinsung und Abschreibung	0,2—8 „	„ —
Unterhaltung und Reparatur	0,5—4 „	„ 1,5
Versicherung und Steuern	1,5—3,0 „	„ —
Glühlampenersatz	1—10 „	„ 2
Sonstiges	0,5—4 „	„ 1
Total	7—30 „	{ Herunter bis 3—6 Mittel 15—20

Nach Lewicki betragen die Brennstoffkosten pro PS_e-Stde für Dampf 1,3—3,5 Pf., Mittel 2,3; für Gas 1,6—3,8 Pf., Mittel 2,2.

Die gesamten Erzeugungskosten pro PS_e-Stde inkl. Verzinsung etc. betragen z. B.:

Bei PS	5	50	1000
Dampf	20	7	3 Pf.
Leuchtgas	12	8	6 „
Kraftgas	8	4	2,5 „
Benzin	13	10	—

Bei Gichtgasmotoren und 8000 Jahresbetriebsstunden kann die Summe: Gaskosten + Wartung und Unterhalt sogar auf 0,9 Pf. pro PS_e-Stde sinken, während bei Dampf kaum 2 Pf. erreicht werden.

In Müllverbrennungsanstalten betragen die totalen Betriebskosten pro Tonne Unrat 1,0—2,0 Mk. (inkl. Verzinsung); hiezu kommen Zufahrtskosten mit ca. 2 Mk. pro Tonne. Dabei sind die Einnahmen für verkaufte Schlacken und elektrische Energie abgezogen; die Gesamtausgaben samt Zins sind 2,0—3,0 Mk. pro Tonne.

Einzelanlagen (Hotels, Warenhäuser) erzeugen die KW-Stde zu 8—15 Pf. Selbstkosten.

Betriebskosten pro elektrische PS-Stde (Dampfanlage):

PS elektrisch	100	1000	6000
Ingenieur	2,0	0,20	0,20 Pf.
Heizer	1,5	0,15	0,15 „
Maschinisten	2,0	0,20	0,20 „
Handlanger	1,2	0,12	0,12 „
Verwaltung	1,5	0,15	0,05 „
Brennmaterial	2,4	2,40	2,40 „
Oel, Wasser, Putzmaterial	0,7	0,70	0,70 „
Verzinsung und Amortisation der Maschinen	0,3	0,14	0,11 „
„ „ „ der Gebäude	0,2	0,07	0,05 „
Total	12,1	4,29	4,17 Pf.

Digitized by Google

Die Erzeugungskosten pro KW hängen sehr vom Belastungsfaktor $b = \frac{\text{abgegebene}}{\text{installierte}}$ KW der Zentrale (Mittelwert) ab, z. B.:

	b = 10	30	60	90 %	
Brennmaterialien . . .	4,8	2,6	1,8	1,3 Pf.	pro KW-Stde ohne Verzinsung und Abschreibung.
Totale Erzeugungskosten	8,0	3,2	2,0	1,8 Pf.	

Praktisch ist b meist < 30; b ist auch $= \frac{\text{jährliche Betriebsstunden mit Volllast}}{8760.}$.

In Wasserkraftanlagen fällt in der Regel der Posten Brennmaterialien weg, im übrigen können obige Zahlen ebenfalls benützt werden. Große Flußtalsperren haben 0,2—3 Pf. Betriebskosten pro PS_e-Stde, kleine Bachtalsperren 10—100 Pf.

h) Einnahmen der Zentralen:

Pro nutzbare KW-Stde Licht 30—65 Pf. (ausnahmsweise 12—25 Pf. bei Wasserkraft und in Kohlengegenden); Kraft 15—40 Pf. (ausnahmsweise 2,5—7 Pf.); Bahn 5—15 Pf. (ausnahmsweise 1,5 und bis 30 Pf.); Zählermiete 2—3 Pf.; total 20—60 Pf. (ausnahmsweise 10 Pf.), Mittel 25—40 Pf.

Die Einnahmen pro KW-Stde sind wegen der Rabatte nur 70—90 % der Tarifwerte.

Gesamteinnahmen pro Jahr = 10—30 % des Gesamtanlagekapitals.

Jahreseinnahmen pro angeschlossenes KW:

Licht . .	50—400 Mk.	(150 Mk. im Mittel)
Kraft . .	30—200 „	(100 „ „ „)
Bahn . .	50—400 „	(150 „ „ „)

Jahreseinnahmen pro 10000 Einwohner 3000—5000 Mk.

Bruttoüberschuß 3—15 % des Anlagekapitals.

Pro nutzbar abgegebene KW-Stde (Frankfurt a. M.):

Einnahmen:	Für Lichtstrom	16,77	Pf.
	Für Kraftstrom	0,15	„
	Für Zählermiete	0,17	„
		17,09	„
Ausgaben:	Kohlen und Holz	3,66	Pf.
	Wasser	0,08	„
	Putz- und Schmiermittel	0,20	„
	Gehälter und Löhne	1,77	„
	Versicherungen	0,16	„
	Instandhaltung und Generalunkosten .	0,57	„
	Mieten, Steuern	0,04	„
	Reparatur und Prüfung der Zähler .	0,01	„
	Diverses	0,05	„
		6,54	„
	Verzinsung und Tilgung des Kapitals	2,90	„
	Abschreibung und Reservefonds . .	1,92	„
	. Total	11.36	„
	Reingewinn	5,73	„

Digitized by Google

i) Tarife. α) Zähler: 1. Für Licht: 20—80 Pf. pro KW-Stde [1]), meist 40 bis 60 Pf.; dazu selten eine Grundtaxe von 50—70 Mk./KW installiert und Jahr, häufig gefordert eine Minimaltaxe von 60—250 Mk. pro installiertes KW und Jahr, d. h. 800—3000 Betriebsstden.

Rabatte: a) nach der Größe des Anschlusses in KW oder in NK bis 40%, selten b) nach der Benützungszeit, bei 3000 Stden 30—40%, bei 6000 Stden bis 80%, mit 1000 Stden beginnend (10%); c) nach dem Konsum in KW-Stden oder in Mark, von 200 Mk. ab und dann bis 45% bei 3000 Mk.

2. Für Motoren: 7—50 Pf. pro KW-Stde, meist 15—30 Pf.; dazu eventuell eine Grundtaxe (150—300 Mk.) pro PS und Jahr, manchmal wird eine Minimaltaxe pro PS und Jahr verlangt (50—150 Mk.). Rabatte nach 1a bis 20%; nach 1b bis 40% bei 700 Stden beginnend; nach 1c von 300 Mk. ab bis 15% bei 20000 Mk. Nur Tagesbetrieb 30% Rabatt. Eventuell Sommers größeren Rabatt als Winters.

3. Für Heizung häufig Motorentarif, seltener Lichttarif; 5—60 Pf. pro KW-Stde. Heizung wird zur Zeit der Maximallast für Beleuchtung nicht abgegeben!

Jahresmietpreise der Zähler 10—15% der Zählerpreise oder 3—15 Mk. pro Jahr, manchmal nur 0,50—2 Mk.

β) Pauschal: 1. Preis pro installierte Jahreskerze 50—150 Pf. bei 500 Betriebsstden, 60—220 Pf. bei 1500 Betriebsstden (meist Wasserkraftanlagen).

2. Für Heizung 50—150 Mk. pro installiertes KW und Jahr, pro Bügeleisen und Jahr 5 Mk. (Familie) bis 30 Mk. (Hotels, Plättereien).

3. Für Motoren bis 3 PS 100—300 Mk. pro effektives Jahrpferd bei Fabrikbetrieb (3000 Stden pro Jahr) und 90—250 Mk. bei 50 PS. Bei 8700 Jahresstden 30—50% mehr, bei 1000 und 2000 Stden 10—30% weniger. Bei Benützung nur bei Tage 30% Rabatt.

Eine Zentrale mit 40 Pf. Licht, 20 Pf. Krafttarif und 15 Pf. Bahntarif wird wegen der Rabatte für Licht im Mittel 32 Pf., für Kraft 15 Pf., im Gesamtmittel 18 Pf. pro KW-Stde einnehmen.

γ) Beispiele von Rabatten:

1. bei 500 Mk. . . 1—5%,
„ 10000 „ . . 20—30 „,
manchmal erst „ 100000 „ . . 20 „;
2. „ 700 Stden . . 5 „,
„ 3000 „ . . 25 „;
3. bis 500 Stden . . 70 Pf./KW-Stde, } alles pro Jahr;
darüber . . . . 25 „
4. Mark × Brennstden = 500000 5%,
= 300 Mill. . . . . 50 „;
5. bei 1500 KW-Stden . 5%,
„ 150000 „ . 40 „,
„ 400000 „ . 60 „, wenn 10jähriger Vertrag;
6. Prämie $= \frac{\text{Stromverbrauch in KW-Stunden}}{\text{Angeschlossene KW} \times C}$; C = 100—300.

δ) Bahnen: Meist 10—14 Pf. pro KW-Stde, selten 6—17 Pf., Rabatte bei 1 Mill. Kilowattstden 30—50% oder bei 300000 Mk. 10%.

[1]) Es gibt Wasserkraftanlagen, die im Winter 10% mehr verlangen als im Sommer.

Digitized by Google

Große Wasserkraftanlagen können unter Umständen die KW-Stde für 2 bis 3 Pf.; das PS-Jahr (elektrisch), d. h. 1 PS 8760 Stden lang, zu 150—25 Mk. abgeben.

k) Anlage- und Betriebskosten eines städtischen Kraftwerks für 4000 KW_{max} und 5000 Volt einphasig:

	Preis pro KW Mk.	Preis pro qm Mk.	Abschreibung und Unterhaltung %
Grunderwerb pro KW	25	6,5	—
Gebäude:			
Maschinenhaus	75	170	—
Kesselhaus und Zubehör	55	110	—
Kohlenraum	30	50	—
Schornstein 70 m hoch, 4 m weit	15		—
Maschinenfundament	12		—
Kesseleinmauerung	20	Summe	—
Gleis- und Aufzugsanlage im Kessel- und Kohlenhaus	15	Preis	—
Dienstgebäude und Werkstatt	5	pro KW	—
Total (Gebäude)	—	250	2
Kondenswasserleitung	15	—	—
Wege, Einfriedigung, Entwässerung	12	—	—
Total (bauliche Anlagen) rund	—	300	2
Maschinen:			
Dampfmaschinen	250	—	8
Dynamos	125	—	8
Kessel	130	—	8
Pumpen für die Kondensation	8	—	8
Rohrleitungen inkl. Kondenswasserleitungen und Speisevorrichtung	50	—	4,5
Economiser	9	—	8
Laufkran[1]) 25 ts	10	—	5
Schalttafel	25	—	5
Zentralenbeleuchtung	3	—	5
Laboratorium etc.	12	—	5
Total	—	620	—
Kabelnetz:			
Straßenarbeiten	—	70	2
Speiseleitungen, 500 Volt (Kabel)	—	70	4
Hochspannungsnetz	—	90	4
Niederspannungsnetz	—	110	4
Transformatoren	—	100	5
Bauleitung	—	130	—
Summa		1490	

[1]) 40000 Mk.

Digitized by Google

Ausgaben pro Jahr: Zins 5%, Abschreibung und Unterhaltung siehe umstehend, Verwaltung 1% des Anlagekapitals, Löhne (Zentrale) ½%, Löhne (Netz) 0,3%, Heizmaterial 2%, Putz- und Schmiermaterial 0,2%, Diverses 0,4% des Anlagekapitals.

15000 KW-Drehstromzentrale (10000 Volt).

Anlagekosten pro KW:

	Mk.
Gebäude und Fundamente, Fachwerk für Gebäude	100
Dampfturbinen und elektrische Generatoren	57
Schaltanlage	24
Hilfsmaschinen	8
Generalunkosten	11
Ingenieurarbeiten und Diverses	10
Total	210

Betriebskosten pro KW-Stde:

		Pf.	Pf.
Löhne:	Maschinenhaus	0,04	0,178
	Schaltraum	0,038	
	Kesselhaus	0,085	
	Allgemein	0,009	
Material:	Kohle	0,630	0,630
	Wasser	0,017	0,034
	Oel	0,009	
	Diverses	0,008	
Batterieunterhalt		0,005	0,135
Reparaturen		0,130	
Total			0,977

Wasserkraftanlage von 15000 PS$_e$ (hydraulisch) am Rhein (ohne Dampfreserve).

Anlagekosten . . . . . 7500000 Mk. { 4500000 Mk. für bauliche Anlagen, 1700000 Mk. für maschinellen Teil, 1100000 Mk. für den elektr. Teil.

Betriebskosten:

Verwaltung und Löhne		160000 Mk.
Wasserrechtzins pro PS 6,4 Mk.		96000 „
Verzinsung 4%		300000 „
Amortisation:		
2,55% vom totalen Kapital	Bauliche Anlagen 1%	45000 „
	Maschineller Teil 5%	85000 „
	Elektrischer Teil 5%	55000 „
Erneuerungsfond 2% des elektr. und maschinellen Teils		56000 „
Reservefond (Hochwasser etc.)		50000 „
Jahresausgaben		847000 Mk. oder 57 Mk. pro PS.

Vergleich der Anlage- und Betriebskosten für Gas und Dampf:

	PS$_e$	30	80	200	
Anlagekosten pro PS$_e$	Dieselmotor	395	270	240 Mk.	inkl. Gebäude Grund = 8,5 Mk./qm
	Gasmotor	370	285	230 „	
	Dampfanlage	485	335	250 „	
Betriebskosten pro PS$_e$-Stde	Dieselmotor	4,7	3,1	2,5 Pf.	
	Gasmotor	5,5	4,1	3,2 „	
	Dampf	7,1	5,0	3,9 „	

Für alle amerikanischen Zentralen, deren mittlere Leistung 400 PS$_e$ ist, ergeben sich im Mittel

die Bruttoeinnahmen zu . . . . 15 Pf. pro KW-Stde,
die Ausgaben zu . . . . . 12 Pf. „ „

Digitized by Google

In 30 amerikanischen Städten mit mehr als 500000 Einwohnern und 1800 PS$_e$ im Mittel ergeben sich dafür 28 bezw. 22 Pf. pro KW-Stde.

25. Elektrische Bahnen.

Die Angaben beziehen sich im wesentlichen auf Straßenbahnen in Städten und nach Vororten.

a) Pro 10000 Anwohner:

1—10 (meist 2—5) km Bahn. (Wenn auf 10000 Anwohner 20—30 km erforderlich werden, so sind solche Vorortlinien kaum mehr rentabel.)
150000—200000 Mk. Anlagekapital ohne Zentrale, ca. 250000 Mk. mit Zentrale.
100000—1,5 Mill. (Mittel 800000) Fahrgäste pro Jahr.
2—5 Motorwagen zu 30—150 PS und 1—3 Anhängewagen (2 Anhänger als 1 Motorwagen gerechnet).
30000—200000 Wagen-km.
50—450 PS installierte Wagenmotoren oder 20—100 KW Zentralenleistung.
50000—300000 KW-Stden pro Jahr.
Jahreseinnahmen (brutto) 30000—400000 Mk.
Hochbahnen und Vorortlinien in großen Städten befördern pro Jahr das 50—350fache der Anwohner.

Pro km Strecke:

1—3 Motorwagen zu 30—150 PS und 0—2 Anhängewagen, auf Hochbahnen 10—20 Wagen.
30—200 PS an Wagenmotoren oder 10—50 KW mittlerer Kraftbedarf oder 20—150 KW Zentralenleistung.
20000—150000 Wagen-km pro Jahr, auf Stadtbahnen 200000—400000.
50000 KW-Stden pro Jahr.
1,2—2 km Gleis.
Jahreseinnahme brutto 12000—50000 Mk., auf Stadtbahnen 0,5—1,0 Mill.
100000—200000 Fahrgäste pro Jahr, auf Stadtbahnen 3—7 Mill. pro Jahr.
100000—200000 Mk. Anlagekapital ohne Zentrale; mit Zentrale 200000 bis 300000 Mk., für Stadtbahnen ist pro km auf 1—3 Mill. Mk. Anlagekapital zu rechnen.
3—5 Angestellte.

In Amerika gibt es pro 100 qkm in den östlichen Staaten 25—35 km Kleinbahnen (Straßenbahnen etc.), in manchen Staaten bis 160 km; in den mittleren Staaten nur etwa 10 km.

Pro Wagenkilometer:

0,3—1,8 KW-Stden, je nach Zahl der Haltestellen.
2—10 (Mittel 3—5) Fahrgäste.
Einnahmen 30—100 Pf. (Mittel 50)
Ausgaben 20—50 Pf.
} Verhältnis meist 50—70%

Pro Wagenstunde:

10—100 Fahrgäste. Pro Tag macht ein Wagen 150—300 km. Pro Wagen entfallen 20—50 KW Zentralenleistung.

Digitized by Google

b) Kraftbedarf auf Stadt- und Straßenbahnen. Zugsfolge alle 2—10 Min.; Haltezeit 5—15 Sek.; Stationsentfernungen 100—1000 m.

100 PS Wagenmotoren benötigen im Mittel 10—20 KW, pro Motorwagen 10 bis 50 KW Zentralenleistung.

Die Motorleistung in Watt berechnet sich pro Wagen oder Zug von G-Tonnen zu $\frac{GV}{\eta}[(c + c_1 V^2 + \rho \pm \sigma) 2{,}73]$. Für die Beschleunigung tritt dazu der Summand $\frac{29\,V}{t}$ in der Klammer ( ), t = Zeit des Beschleunigens in Sek.; bei der Beschleunigung 0,1 m/Sek. ist $\frac{29\,V}{t} = 10$ kg (Güterzüge), bei 0,8 m/Sek. aber 80 kg (Stadtbahnen).

V = Geschwindigkeit in km/Stde, bei Straßenbahnen im Mittel 8—15, außerhalb der Stadt 15—30, auf Vorort- und Vollbahnen 30—100, Güterzüge 15—30, Stadtbahnen 30—90 km, Bergbahnen 3—5 km/Stde.

$c_1 = 0{,}0025$ und weniger (meist ist $c_1 V^2$ in c enthalten).

$\rho = \frac{k}{R - R_0}$; k = 300—800; R_0 = 10—60; R = Krümmungsradius in m.

σ = Steigung in ‰.

V = 10	30	50	80	130	km/Stde.
c = 2,9	5,0	7,7	14,5	32	kg/Tonne bei einem Wagen[1]).
c = c' = 2,6	3,4	4,5	6,0	9,1	kg/Tonne bei 10 Wagen pro Zug.

Minimum von c = 2,0; bei Straßenbahnen c = 10—15; bei 200 km (Schnellbahnwagen) c = 14, für Automobile c = 25—30.

Bei 2 Wagen nehme man $^1/_3$ (c + c').

Wirkungsgrad der Motoren samt Vorgelege η = 75—90 %.

Größte Steigung 6 % (bei Anhängern) bis 11 %; kleinster Kurvenradius meist 10—15 m (ausnahmsweise 5 m).

Das Verhältnis Triebgewicht der Lokomotive: max. Zugkraft $\geqq$ 6,5.

Der Zugswiderstand c in kg pro Tonne Zugsgewicht ist nach Davis:

$$c = a + bV + d\,\frac{V^2}{g}\,[1 + 0{,}1\,(n - 1)].$$

V = km/Stden, g = 9,81, n = Zahl der Wagen, Werte der Konstanten:

	Straßenbahnen G_w = 8—20, V_{max} = 45, F = 8	Vorortbahnen G_w = 25—40, V_{max} = 100, F = 9	Vollbahnen G_w = 40—50, V_{max} = 120, F = 10	Güterzüge G_w = 45, V_{max} = 55, F = 10
a	2,7	2,2	1,8	1,4
b	0,031	0,036	0,036	0,036
d	0,053	0,053	0,058	0,067

G_w = Gewicht pro Wagen in t; F = Querschnittfläche eines Wagens (Windfläche) in qm.

Angenähert ist die Motorleistung

$$PS = \frac{\text{Zuggewicht in t} \times \text{max. Geschwindigkeit in km/Stden}}{8}.$$

[1]) Inkl. Luftwiderstand $c_1 V^2$.

Digitized by Google

Die Zentrale hat folgende maximale KW-Zahl zu liefern (eine einfache Strecke mit vielen Haltestellen vorausgesetzt):

$$A_s = 0{,}08 \frac{G\,l\,k\,Z}{t} \text{ in KW},$$

G = Zugsgewicht (besetzt) in Tonnen,
l = Länge der Strecke in km,
Z = Zahl der maximal gleichzeitig fahrenden Züge,
t = Zeit einer ganzen Fahrt in Minuten,
k = Wattstunden pro Tonnen-km (für Straßenbahnen k = 30—45).

In den Koeffizienten 0,08 sind 25 % für Verluste, Licht und Heizung eingerechnet; pro Wagen rechne man 300—800 Wattstunden.

Für ein Netz mit vielen Strecken lagert man die KW der einzelnen Strecken, die nach obiger Formel berechnet sind, übereinander.

k hat folgende Werte, alle Verluste einbegriffen:

	V = 10	25	50	km/Stde mittlere Geschwindigkeit
Entfernung der Haltepunkte 0,3 km	k = 50	75	—	Wattstunden pro Tonnen-km
Entfernung der Haltepunkte 1,5 km	k = 20	30	80	" " "
Entfernung der Haltepunkte 4,5 km	k = —	25	50	" " "

Bei Vollbahnen mit V = 30—70 km/Stde kann man mit 25—50 Wattstunden pro Tonnen-km am Zug und mit dem 1,3—1,8fachen in der Zentrale rechnen.

Die Zentralenleistung A_s berechnet sich auch aus:

$$A_s = \frac{c\,Z\,G\,V}{367\,\eta} \text{ in KW},$$

c = kg Zugkraft pro t (siehe neben), für Straßenbahnen 10—15, für Vollbahnen 2,5—5,
Z = größte Anzahl gleichzeitig fahrender Wagen,
G = Zugsgewicht in Tonnen,
V = mittlere Geschwindigkeit in km/Stde (10—15 in Städten, außerhalb bis 30).
η = 0,60—0,75.

Heizkörper verzehren pro Wagen 2—3,5 KW.

Bei Bergbahnen ist für den Fall, daß Gleichstrom-Nebenschlußmotoren und Akkumulatoren zur Verwendung kommen, eine beträchtliche Stromrückgewinnung möglich. Zahnstangen bei Steigungen $>$ 80—110 ‰.

Der Wirkungsgrad von der Zentrale bis zum Zug ist beim Drehstrom-Gleichstromsystem 65—75 %, bei reinem Wechselstromsystem 80—85 %.

c) Spannungsabfall: Ist J der maximale Strom entsprechend A_s, so soll der Fahrdrahtquerschnitt $\geqq$ J/3 sein, eventuell ist er durch einen zweiten Draht oder parallele Kabel zu verstärken. Ferner soll für diesen Fall der ganze Spannungsabfall der Schienen möglichst $<$ 7 Volt sein. Schienenwiderstand pro m: $\frac{0{,}5}{g}$ + 0,01 Ohm/km, wenn g das Schienengewicht in kg/m; bei Wechselstrom 5—10mal größer (hängt von der Periodenzahl ab). Gesamter Spannungsabfall maximal 15 bis 25 % von der Zentrale zum Wagen. Entfernung der Speisepunkte mit Sektionsschaltern 0,5—1,5 km. g = 20—50 kg/m. Stromdichte im Kupferdraht 2—3 Amp./qmm, in Eisenschienen 0,2—0,5 Amp./qmm.

d) Pufferbatterie (einstündige Entladung) mit 40—70 % der Generatorleistung bei 100 KW; 20—40 % der Generatorleistung bei 300—1000 KW je auf 1 Stunde bezogen.

Digitized by Google

Von Wagenbatterien sind nach ca. 20000 Wagen-km die + Platten und nach ca. 40000 Wagen-km die — Platten zu erneuern. Entladezeit 1—3 Stunden.

Die Gewichte eines Akkumulatorenwagens sind z. B. folgende:

Wagen an sich	10000 kg
Akkumulatoren	6000 „
Elektrische Einrichtung . .	3000 „
Fahrgäste	3500 „
	22500 kg

Pro kg Akkumulator rechne man ca. 3 Wattstunden; 1 kg Akkumulator kostet 1,5 Mk., Montage einbegriffen.

Unterhaltungskosten pro Wagen-km 6—10 Pf. (speziell für die Akkumulatoren 5 Pf.), pro Wagen-Jahr 300 Mk.

e) Die Preise für elektrische Zentralen sind auf S. 477 ff. gegeben. Für Straßenbahnen kann man für 6 Wagen etwa 100 KW-Zentralenleistung rechnen, für 15 Wagen 200 KW; für viele Wagen genügen 8—10 KW pro Wagen.

Pro Wagen sind an totalen Anlagekosten für die Zentrale zu rechnen: 12000 bis 4000 Mk. bei 10—400 Wagen. Beispiel:

1	2	3	4	5		6	7[2])
				Anlagekosten der			
Wagen	Zentrale	Anlagekosten der Dampfzentrale	Kosten der Zentrale pro Wagen	Wagen	elektrischen[1]) Leitungen	Kosten der Wagen und elektrischen Leitungen pro Wagen	Spalte 4 + 6
	KW	Mk.	Mk.	Mk.	Mk.	Mk.	Mk.
10	150	80000	8000	130000	50000	18000	26000
50	700	350000	7000	650000	600000	25000	32000

Anlagekosten einer Bahnzentrale für 10000 KW mit 5 Drehstrom-Gleichstromunterstationen pro KW Generatorleistung:

Gebäude	90 Mk. pro KW
Dampfmaschinen	210 „ „ „
Hilfsmaschinen (Erreger etc.) . .	25 „ „ „
Kessel	45 „ „ „
Drehstromgeneratoren	55 „ „ „
Hilfsmaschinen (Erreger etc.) . .	15 „ „ „
Transformatoren	40 „ „ „
Umformer	75 „ „ „
	555 Mk. pro KW

[1]) 0,8 km pro Wagen. Die Kosten für das Gleis an sich sind nicht berechnet.

[2]) Spalte 7 schließt alle Kosten der elektrischen Bahn samt Zentrale in sich, abgesehen vom Gleis und von der Bettung.

Digitized by Google

Unterstationen:		Abstand der einzelnen Unterstationen	
Drehstrom-Gleichstrom	600—800 Volt	5—20 km	Auf die Fahrdrahtspannung bezogen.
2 × 600 bis 2 × 1000	„	15—30 „	
Drehstrom oder Einphasenstrom .	500—1000 „	3—12 „	
	2500 „	15—30 „	
	15000 „	80—150 „	

f) Anlagekosten pro km einfache Strecke.

1. Oberleitung und innerhalb der Stadt.

Total ohne elektrische Zentrale	100000—150000 Mk.		
Total mit elektrischer Zentrale	150000—250000 „		
Einzeln:			
Elektrische Zentrale (ohne Gebäude)	50000—100000 „		
Gebäude und Grundstück inkl. Schuppen	10000— 15000 „		
Gesamte Leitungen (Streckenausrüstung) eingleisig	5000— 20000 „		20000 bis 80000 Mk.
	Mittel 10000 „		
zweigleisig	10000— 30000 „		
Gleis ganz für sich ohne elektrische Verbindungen, ohne Erdarbeiten (eingleisig) total	10000— 15000 „		(Mittel 30000 Mk.)
Gleis samt Erdarbeiten . . Normalspur eingleisig	20000— 30000 „		
„ zweigleisig	35000— 50000 „		
Wagen	20000— 30000 „		
Werkstätten und Bureaus	1000— 2000 „		
Bauunkosten	5000— 10000 „		

Grundfläche der Wagenschuppen (Remisen) mit Gleisen und mit Gleisgruben 25 bis 100 qm pro Wagen, 30—100 qm pro km einfache Strecke.

Höhe der Schuppen 8—15 m, Preis pro qm Schuppen 30—40 Mk. (Gebäude), Werkstätten (Schlosserei, Werkzeugmaschinen, Wickelei, Tischlerei, Lackiererei) 3—20 qm pro Wagen.

Abmessungen	eines Motorwagens:	eines Anhängers:
Größte Länge . .	7—16 m	5 —7 m
Größte Höhe . .	3— 6,5 „ [1])	2,5—4 „
Größte Breite . .	2— 3,0 „	2 —2,5 „

Uebliche Spurweiten: normal (1,435 m), 1 m, 75 cm, 60 cm.

2. Anlagekosten der 4 km langen Straßenbahn Schaffhausen:

Verwaltung	1800	Mk./km
Verzinsung	800	„
Expropriation	300	„
Unterbau	1800	„
Oberbau	34000	„
Leitungen	20000	„
Hochbau	13000	„
Signale, Diverses	2000	„
Rollmaterial	32000	„
Mobiliar etc.	3500	„
	109200	Mk./km

[1]) Mit Sitzplätzen oben.

Digitized by Google

Städtische Oberleitung pro km:

	Mk./km (eindrähtig)
Stangen (montiert)	12000—15000
Aufhängevorrichtungen (Isolatoren, Spanndrähte, 6 mm Durchmesser, Stahl etc.)	500
Trolleydraht (10 mm Durchmesser)	1100 (Minimum 400 Mk.)
Sektionsschalter alle 1,5 km	100
Blitzschutz alle 1,5 km	70
Leitungsspeiser alle 0,4 km	130
Montage	1200
	14100—17000 Mk./km
Bei 2 Drähten	19000—20000 Mk./km
Mindestpreis pro km Oberleitung	5000 Mk. total
Für Speiseleitungen	2000—6000 Mk./km Strecke
Für Rückspeiser	1500 „ „

Osthoff gibt pro km Straßenbahn:

Dampfkessel (50 qm)	7500	Mk./km
Dampfmaschinen (32 PS)	8000	„
Speisepumpen, Rohrleitungen, Montage, Kran	3500	„
Dynamos	12900	„
Schaltanlage	1200	„
Speiseleitung	2800	„
Wagenschuppen (70 qm)	3500	„
Geschäftsräume	1000	„
Grunderwerb (250 qm)	1250	„
Gleisanlage (eingleisig)	15520	„
Stromzuführung	5000	„
Arbeitsleitungen	2000	„
Schienenverbinder	600	„
Streckenapparate	750	„
Vorarbeiten	300	„
Bauleitung	500	„
Sicherstellung	1000	„
Zinsen während der Bauzeit	3680	„
	71000	Mk./km
Motorwagen[1]) bei 8 Min.betrieb	24000	„
Total	95000	Mk./km
„ bei 10 Min.betrieb	11000	„
Total	82000	„

[1]) Für x Min.betrieb $\frac{11000}{x}$ 11.

Digitized by Google

8. Ganz einfache Schmalspurbahn 75—60 cm Spur:

	Mk. pro km
Grund und Boden	400
Erdarbeiten	1500
Uebergänge	400
Gleis { Schienen . . . 13000 Mk. / elektr. Verbinder 2000 Mk. }	15000
Oberleitung { Maste und Verlegung . 700 Mk. / Trolleydraht . . . . 800 Mk. / Spanndrähte, Isolatoren 500 Mk. }	2000
Stationen und Signale	3000
Rollendes Material	4000—2000
Aufsicht und Montage	400
Abgaben, Diverses	300
Elektrische Zentrale	4000—2000
Schuppen	1000—500
	32000—27500 Mk./km

4. Gleichstrombahn mit eigenem Bahnkörper und dritter Schiene, Drehstromübertragung: Kosten pro km Strecke:

		Mk.	
Strecke	Schienen mit Zubehör	9000—15000	(130—140 Mk. pro Tonne)
	Verlegung derselben	1000— 3000	(außerhalb der Stadt 1000)
	Elektr. Schienenverbinder	1000— 2000	
	Schwellen (eichen, in 0,6—0,8 m Abstand)	3000— 4500	
	Steinballast	5000—10000	
	Planierung der Strecke[1]) (Auffüllen und Abtragen)	4000—15000	
	Dritte Schiene	7000—20000	(150—170 Mk. pro Tonne, ein Isolator 1,50 Mk.)
	Kabel, elektrische	3000— 6000	
	Brücken und Ueberführungen	9000—30000	(pro Ueberführung ca. 30000 Mk.)
	Diverses	500— 1000	
Ausrüstung	Wagen à 20000—40000 Mk.	2500—20000	
	Zentrale und Unterstationen (erstere 400 Mk./KW, letztere 150 Mk./KW)	9000—50000	
	Signale, Zäune, Diverses	2500—10000	
	Grunderwerb	3000—50000	(pro qm 0,1—10 Mk.)
		60000—250000	

5. Elektrischer Teil einer Drehstromnebenbahn (Burgdorf-Thun, 750 Volt):

[1]) Siehe Hütte 18. Abschnitt.

Digitized by Google

	Preis pro km Strecke
Hochspannungszuleitungen	3 000 Mk.
Transformatorenstationen	4 000 „
Oberleitung und Schienenverbindungen .	8 000 „
Beleuchtung der Bahnhöfe	500 „
Elektrische Wagenausrüstung	5 000 „
Diverses	800 „
	21 300 Mk. pro km.

Aktienkapital pro km Strecke 60000 Mk.

(40 km Strecke, 15 Bahnhöfe, 2 Lokomotiven 30 t, 6 Motorwagen 23 t, 10 Anhänger.)

Schweizerische elektrische Schmalspurbahnen mit Steigungen bis 7% kosten total samt Rollmaterial 90000—200000 pro km, ersterer Wert auf der Ebene, letzterer auf starken Steigungen.

6. Für Vollbahnen kann man rechnen:

Leitungen primär und sekundär . .	20000 Mk. pro km Gleis,
Elektrisches Rollmaterial	10000 „ „ „ „
Unterstationen von 1000 KW in Abständen von 30 km:	
Transformatoren	40 „ pro KW,
Umformer	150 „ „ „
Zentralen von 5000—50000 KW . .	400 „ „ „

Mittlerer Effektverbrauch pro km Gleis bei 7000 Zugs-km pro km und Jahr 7 KW,
15000 „ „ „ „ „ 15 „

Mittlere Zugkraft pro Zug 750 kg, gesamter Wirkungsgrad 60%.
(In der Zentrale gemessen.)

Maximalverbrauch = 2,5mal mittlerer Verbrauch.

Jahresleistung einer Lokomotive zu 40000 Mk. 80000 km.

Das Anlagekapital der deutschen Vollbahnen ist pro km Betriebslänge 250000 bis 400000 Mk., auf 100 km kommen 30—50 Lokomotiven, 70—130 Personenwagen, 400—1200 Güterwagen.

7. Fabriksbahn mit Lokomotiven von 1500 kg Gewicht und 6 PS, V = 15 km pro Stunde.

Gleis	3000 Mk. pro km,
Oberleitung und elektr. Ausrüstung	3000 „ „ „ (ohne Zentrale!)
Lokomotiven und Wagen	4500 „ „ „
	10500 Mk. pro km.

Betriebskosten inkl. Verzinsung und Abschreibung pro Jahr und km 4000 Mk.: dabei können 10000 cbm-km befördert werden, d. h. pro cbm-km 0,40 Mk. Betriebskosten.

8. Für eine längere Bahnstrecke mit Drehstrom-Gleichstrom sind die Anlagekosten exkl. Strecke für jeden 80 t-Zug bei V = 60 km/Stunden pro km Strecke:

Zentrale . . .	5000 Mk.,
Unterstationen .	3000—4000 Mk.,
Wagen	3000 Mk.

Digitized by Google

9. Kosten des Gleises und der Stromzuführung, ohne Grund und Boden und ohne Erdarbeiten, aber samt Montage (eingleisig):

Oberleitung		25 000—60 000 Mk.	Niveaubahnen.
Dritte Schiene		25 000—50 000 „	
In Städten	Oberflächenkontaktsystem [1]	80 000 Mk. und mehr	
	Schlitzkanal [1] eingleisig	20 000—60 000 Mk.	
	Schlitzkanal [1] zweigleisig	60 000—150 000 „	

10. Elektr. Hochbahn total pro km Strecke. ½ Mill. bis 3 Mill. Mk. (Mittel 1—1½ Mill. Mk.)

Elektr. Untergrundbahn oder Unterpflasterbahn total pro km . . . . 1½ Mill. bis 7 Mill. Mk.

Elektr. Schwebebahn (ohne Zentrale) pro km . . . . . 30 000—60 000 Mk.

(Hoch- und Untergrundbahnen meist zweigleisig. Bei 4 Gleisen hat man 30—50 % mehr zu rechnen.)

Zahnradbahn total pro km . . . . . 100 000—500 000 Mk.

Drahtseilbahn „ „ „ . . . . . 20 000— 30 000 „

(Betriebskosten des letzteren 0,50—3,0 Mk. pro t-km.)

Für die elektrische Stadtbahn Berlin gilt (8 km Hoch-, 2 km Untergrundbahn):

Anlagekosten:

Bahnkörper und Haltestellen, Hochbahn	1,7 Mill. Mk./km,	
Unterpflasterbahn	2,3 „ „	
Wagenpark	0,14 „ „	total,
Kraftwerk	0,14 „ „	„
Grunderwerb (z. T. vermietet)	0,7 „ „	„
Bauzinsen	0,23 „ „	„

Tunnelbau 4,5—6,7 Mk./cbm, Ziegelmauerwerk 27 Mk./cbm, Fundamentmauerwerk 24 Mk./cbm, Gewölbe 36 Mk./cbm, Beton 21 Mk./cbm; Walzeisen 130—180 Mk./t und zwar 2000 t pro km Hochbahn und 1000 t pro km Unterpflasterbahn. Viadukte und Brücken 280—450 Mk./t oder 300—2000 Mk./m.

11. Gleislose Bahnen:

Anlagekosten:

Oberleitung und elektr. Leitungen	5 000—8 000 Mk. pro km,
Elektr. Omnibusse 2 × 10 PS, V = 15 bis 20 km/Stunde) pro Stück	10 000—15 000 Mk., Gewicht leer 3—4 t, besetzt 5—6 t.
Remise pro Wagen	2 000— 5 000 „

Gesamte Anlagekosten = ½—¼ der von Straßenbahnen.

Der gleislose Wagen braucht etwa 100 % mehr Energie als ein solcher auf Gleis, nämlich 100—150 Wattstunden pro t-km; die Unterhaltungskosten des Gleises fallen weg. Zugkraft = ⅓ Adhäsionsgewicht.

12. Kanalschleppschiffahrt: Boote von 70—300 t, V = 1,5—7 km/Stunde (leer 10—15 km), Lokomotiven von 5—15 PS zu 3000—5000 Mk. das Stück; Zugkraft ½—2 kg pro t; pro 100 kg Zugkraft 15—25 Watt; 2—6 KW pro 100—200 t

[1] Die gemauerten oder betonierten Kanäle für die Stromführung eingeschlossen.

Digitized by Google

Schiffsgewicht bei 2,5—5 km/Stunde, leichte Schienen mit 5—15 kg/m und einfache Oberleitung.

Anlagekosten des Gleises zu beiden Seiten des Kanals samt Zentrale pro km 30 000—50 000 Mk.

Pro 100 t und km kann man mit 20—80 Pf. Betriebskosten rechnen.

Statt der Lokomotiven kann man auch elektr. Schleppschiffe anwenden oder einen elektr. Propeller hinten auf die Kähne aufsetzen.

g) Einzelpreise für die Wagen:

		Mk.
1 Motorwagen, zweiachsig, für 30—40 Personen und 2 Motoren mit zusammen 30—80 PS kostet . . . . . Gewicht 7—10 t besetzt.		6 000—15 000
1 Motorwagen, vierachsig, für 40—100 Personen mit 2—4 Motoren von zusammen 80—300 PS kostet . . . . . Gewicht 15—30 t (Hochbahnwagen).		16 000—30 000
1 Motorwagen 40 t, 400—600 PS		35 000
1 Anhänger (Straßenbahn) . . . . . Gewicht 4—6 t, besetzt mit 50 Personen. (Das Leergewicht der Wagen ist 80—90 % der besetzten Wagen, pro Person rechnet man 50—80 kg, Mittel 65—75 kg.)		3 000—4 000
1 Motorwagen mit Obersitzen (50 Plätze)		20 000
Für Vollbahnen	1 Güterwagen	2 400—5 000
	1 Gepäckwagen	7 000—10 000
	1 Personenwagen (70—120 Personen) IV. Kl. . . .	4 500
	I. und II. Kl. .	10 000
	1 D-Zugwagen	20 000—25 000
	1 Lokomotive von 20—50 t Gewicht (elektr.) . . .	30 000—60 000
1 Akkumulatorenwagen 20—30 t für 50 Personen		50 000
1 Draisine		400
1 Salzwagen (elektr.)		1 300
1 Sprengwagen		2 000
1 Schneepflug (elektr.)		5 000
1 Werkzeugwagen		2 500
Elektromobilfiaker		10 000 [1])

Vom Motorwagenpreis entfallen:

50 % auf die elektrische Einrichtung,
30 % „ den Wagenkörper,
20 % „ Wagengestell und Luftbremse.

Hochbahnzüge haben häufig 3 Wagen, zwei zu 30—50 t (Motorwagen) und einen zu 15—25 t.

[1]) Jährliche Betriebskosten des Fiakers 5000 Mk.

Digitized by Google

Elektrische Wagenausrüstung	Mk.	kg
Ohne Vorgelege 80 %, davon: 1 Motor für 15 PS samt Vorgelege	1500	650
davon: 1 „ „ 50 „ „ „	3000	1400
davon: 1 „ „ 100 „ „ „	5000	2500
1 Kontroller für 2 × 15 PS	500	150
1 „ „ 2 × 50 „	1600	300
1 Blitzschutzapparat	30—60	—
1 automatischer Schalter	100—500	—
Montage des elektrischen Teils eines Wagens	200—500	—
1 Automobilmotor 4 PS	1800	420
1 Kontroller dazu	250	20

Pro Wagen gelten folgende Einzelpreise (Straßenbahnwagen):

	Mk.
Untergestell	1400—2500
Wagenkasten	4000—6000
2 Motoren samt Kontroller und Widerstände	5000—6000
Gesamte Wagenleitungen	250—300
Sicherungen und Schalter pro Wagen	150—500
Widerstände	150—500
1 Deckenlampe	10—15
2 Lampenschalter	20
Reflektorlampe	35
Trolley oder Bügel	100—300
1 Trolleyrad	5—10
Schutzvorrichtung pro Stück	200—500
Bremse (Druckluft)	4000
„ (elektrisch, Wirbelstrombremse)	300—500
Lichtkupplung für Anhänger	55
Elektrische Heizvorrichtung	300—500
Elektrische Zugsbeleuchtung von der Achse pro Waggon	3000—8000
Einzelner Heizapparat für 0,5—2 KW pro Stück	30—80

Elektrische Zugsbeleuchtung von der Wagenachse ca. 15 Mk. pro Hefnerkerze.

Pro 10 Wagen rechnet man für die Remise und die Werkstätten:

	Anlagekosten Mk.
8—10 Bogenlampen, d. h. 4—6 KW	1200
40—50 Glühlampen, d. h. 2—3 KW	600
Werkzeugmaschinen 2—5 PS	2500
Schiebebühnen 1—2 PS (Jede Schiebebühne hat 4—10 PS.)	500

Digitized by Google

Bahnmotoren wiegen samt Vorgelege 40—15 kg/PS bei 20—200 PS, ohne Vorgelege 10% weniger.

Die Außendimensionen der Bahnmotoren sind:

PS	Höhe mm	Breite mm	Länge in mm ohne Vorgelege
25	600—900	520—700	450—950
50	620—1000	620—750	990—1100
200	750—1150	790—1160	1050—1300

Für die 1000 PS-Schnellbahnwagen (10000 Volt, V = 150—220 km/Stunde) der A. E.-G. und von S. & H. gilt:

Motoren 13—16 kg pro PS,
Transformatoren 6,5—12 kg pro KVA,
Totale elektrische Ausrüstung 27—42 kg pro PS,
Totalgewicht des Wagens 90—100 t,
Elektrische Ausrüstung 27—42 t.

h) Elektrische Lokomotiven.

1. Grubenlokomotiven:

Dieselben Daten, abgesehen von den Maßen, gelten auch für Fabrik- und Transportlokomotiven.				
Zugkraft	320	1350	4000	kg
Geschwindigkeit	11	13	13	km/Stde
Mittlerer KW-Verbrauch	11	60	190	
Radstand	1040	1600 mm	—	
Spurweite	450	1000 „	normal	
Gewicht	2400	7000	23000	kg
Länge × Höhe	2800 × 650	3500 × 1100	8000 × 1400	mm
Preis ca.	6000	12000	36000	Mk.

Die Breite ist 400—600 mm größer als die Spurweite.

2. Vollbahnlokomotiven [1]):

Meist 20—60 t und Geschwindigkeit 20—80 km/Stunde. Zweiachsige, 30 t-Lokomotive einer Drehstrombahn (Burgdorf-Thun): Länge = 7,8 m, 2 Motoren à 150 PS, V = 18 und 36 km/Stunde, elektrische Ausrüstung 10 t, Motoren 4 t, Raddurchmesser 1230 mm.

Elektrische Lokomotiven wiegen nur 50—70% des Gewichts von Dampflokomotiven gleicher Leistung.

[1]) Dampflokomotiven kosten etwa: 50000 Mk. für Personenzüge, 40000 „ „ Güterzüge, 30000 „ als Tenderlokomotiven } Hauptbahnen.

Digitized by Google

Lokomotiven mit zwei Drehgestellen:

Motoren			Zugkraft		Ungefähre Geschwindigkeit		Betriebsgewicht	Kleinste zulässige Spurweite	Preis
Anzahl	Gesamtleistung norm. PS	Gesamtleistung max. PS	norm. kg	max. kg	bei Normalleistung km/Stde	bei Maximalleistung km/Stde	kg	mm	ca. Mk.
4	84	126	1640 960	2900 1700	13 22	11 18	15 000	750	25 000
4	140	210	1960 1000	3600 1600	18 35	14 27	18 000	1000	28 000
4	200	300	2700 1000	5000 1900	18 50	15 40	20 000	1435 normal	30 000

Elektrische Berglokomotiven wiegen 10—15 t und schieben 15—20 t Nutzlast.

3. Baltimore-Ohio-Lokomotive:

Zugkraft 31 000 kg, maximal 36 000 kg, Geschwindigkeit 20 km/Stunde mit einem 3000 t-Zug;

Totalgewicht 2 × 80 t; 2 × 8 Triebachsen mit 8 × 200 = 1600 PS;

Totallänge 18 m; Breite 3 m; Höhe 4 m; Raddurchmesser = 1060 mm; Preis ca. 200 000 Mk.

4. New York-Central-Lokomotive:

Zugkraft 9200 kg, maximal 14500 kg; Geschwindigkeit mit einem 500 t-Zug 100 km/Stunde;

Totalgewicht 95 t; 4 Triebachsen mit zusammen 70 t und 4 Motoren zu je 550 PS, maximal 750 PS, 2 Laufachsen;

Totallänge 11,2 m; Totalbreite 3 m; Raddurchmesser 1120 und 3900 mm; Preis ca. 150 000 Mk.

i) Strecke.

Pro km Bahn sind 120 a (75 cm Spur, eben, eingleisig) bis 500 a (Hauptbahn, zweigleisig, Steigungen) zu erwerben (a = Ar).

Schienengewicht 30—50 kg/m (ganz leichte Bahnen 10—20 kg/m), 14 bis 17 Mk./100 kg; Zahnstange 30—40 kg/m, 15—20 Mk./100 kg.

Für Erdarbeiten ist für jeden cbm, der auf x m Entfernung zu befördern ist, $c_1 + c_2 (x + c_3)$ x Mk. zu rechnen,

$$c_1 = 0{,}05—015,$$
$$c_2 = 15 \cdot 10^{-9}—50 \cdot 10^{-9},$$
$$c_3 = 5000—12\,000,$$

je nach Transportweise.

Schienenlänge 10—12 m.

Schwellen pro km ca. 1500 à 2—5 Mk. (Holz, Stoßschwellen 4—7 Mk.), oder 10 Mk. (Eisen), 1 cbm Steinballast 4 Mk., pro km 1500—2000 cbm.

Weiche komplett mit Schwellen 1500—4000 Mk.

Einbau einer Weiche in Asphalt 4000 Mk.

Digitized by Google

200—300 Schienenverbinder pro km zu 2—3 Mk. das Stück (installiert, einfaches Gleis); Schienenschweißung 15—20 Mk. pro Schweißstelle.

Gleis pro km (ohne elektrische Einrichtung):

	Mk.	
1gleisig: Material zu Gleis an sich (Schienen, Schwellen)	7000—16 000	pro km
1gleisig: Verlegung	1200— 2 500	pro km
1gleisig: Total	9500—18 000	pro km
Pro km Kurven Zuschlag	2000— 4 500	
1 m Doppelgleis in Asphalt verlegt	160— 180	ohne Oberleitung
Ebenso in Steinpflaster	60— 150	
Pflaster- und Erdarbeiten pro km einfaches Gleis	3000—40 000	

Kosten und Verlegung von Oberleitung 8000—12 000 Mk./km.

Fahrdrahtdurchmesser = 8—11 mm; dritte Schiene Querschnitt = 35—40 qcm.

Pro Ueberführung über eine Eisenbahn 100 000 Mk., Tunnel pro m 800 bis 2000 Mk. (1- oder 2gleisig).

Für Gebäude, Haltestellen, Schuppen 1500—3000 Mk./km.

Ein Bahnhof kostet 3000—100 000 Mk.[1]), einfacher Bahnhof für Hoch- und Vorortbahnen 30 000 Mk. (Kasse, Wartesaal), allgemein bebaute Fläche pro qm 10 bis 250 Mk., Bahnhofhallen 30—100 Mk./qm, Schuppen 50—70 Mk./qm.

1 Drehscheibe, 3,5 m Durchmesser, verlegt 2500 Mk.

Anlagekosten pro km-Strecke (1gleisig):

	Hauptbahnen	Neben- und Kleinbahnen	45 cm Spur Mk./km
Grunderwerb	7 000— 70 000	5 000— 14 000	2 000— 6 000
Erd- und Felsarbeiten, ebenes Terrain	5 000— 10 000	4 000— 7 000	1 000— 1 500
Erd- und Felsarbeiten, gebirgiges „	150 000—300 000	120 000—150 000	50 000—80 000
Brücken und Durchlässe samt Uebergängen, eben	2 000— 3 000	1 500	300
Brücken und Durchlässe samt Uebergängen, gebirgig	12 000— 16 000	9 000	3 000
Oberbau: Bettung	4 000— 16 000	3 000— 2 000	1 500
Oberbau: hölzerne Schwellen	20 000— 24 000	15 000— 18 000	10 000
Oberbau: eiserner Oberbau	20 000— 30 000	—	—
Signale	1 400	300—500	200
Gebäude	20 000	10 000— 8 000	2 000
Mobiliar, Werkzeuge	3 000	2 000— 1 500	500
Werkstätten	1 500— 2 500	800— 1 200	500
Betriebsmittel	25 000—100 000	12 000— 25 000	8 000

[1]) Hauptbahnhöfe von Vollbahnen ½—3 Mill.

Digitized by Google

1 Stromzuführungsmast (Eisen) pro Stück 70—400 Mk. bei 100—600 kg Gewicht und 6,5—10,5 m Länge.

Drahthöhe über dem Boden ca. 5—7,5 m, Mastenentfernung 40 m (in Kurven 5—20 m).

1 Ausleger für Maste: Einarmig 30—80 Mk., zweiarmig 60—150 Mk.
1 Holzmast 10—20 Mk.
1 Gittermast 40—70 Mk. pro 100 kg.
1 Fahrdrahtisolator einfach 2,5—4,5 Mk., doppelt 5—8 Mk.
1 Luftweiche 20—100 Mk.
1 Abteilungsisolator 25—30 Mk.
1 Mauerrosette mit Zubehör 5—15 Mk.
1 Montageleiter 400 Mk.
1 Montagewagen 1500 Mk.
1 Streckenausschalter mit Kasten 60—150 Mk.
Löhne für die Leitung: Maurer 30—40 Pf., Monteur 50—60 Pf. pro Stunde,
Löhne für Maurer pro Mast 15 Mk., pro Mauerosette 2 Mk.
Werkzeugsatz für Montage 300—400 Mk.
Kontaktdraht, 80 qmm, pro m 1,4 Mk.
Spanndraht aus Stahl, 3 mm Durchmesser, pro m 0,04 Mk.,
6 „ „ „ „ 0,12 „

k) Betriebsausgaben.

1. Verzinsung, Abschreibung und Tilgung (zusammen 6—10 %) siehe S. 532, außerdem für Abschreibung:

Oberleitung	6 % des Kapitals
Speisekabel	4 „ „ „
Wagen	5 „ „ „
Reparaturwerkstätte . .	12 „ „ „
Bahnmotoren	7 „ „ „
Einankerumformer . .	9 „ „ „
Gleis	10 „ „ „

2. Unterhaltungskosten pro Wagen und Jahr:

Trolleyrad	13 Mk.,
Motoren (Kommutatoren) .	1 „
Lager	80 „
Kontroller	12 „
Total	110 Mk.

Pro Wagen-km (zu 10—15 Tonnen-km) sind die Unterhaltungskosten:

Für Wagen . . . . . 2,0—5 Pf.,
Für das Gleis . . . . 1—7 „ (pro km Gleis und Jahr 500—5000 Mk.).
Für die Oberleitung . . 0,1—0,2 „

2—3 Anhänger rechne man wie einen Motorwagen.

Digitized by Google

3. Betriebsausgaben pro km Strecke und Jahr (Straßenbahn):

Energie	6 000 Mk.,	
Löhne	7 000 „	
Unterhaltung der Wagen	2 500 „	
„ des Gleises	2 500 „	bis 1200 Mk.,
Diverses	2 000 „	
	Summe 20 000 Mk.	

Ein Führer hat 30—60 Pf. pro Stunde, ein Schaffner 25—50 Pf. pro Stunde, die Arbeiter an den Haltestellen 20—40 Pf. pro Stunde, in Amerika das 2—2½fache. Dienstzeit 10—15 Stunden. Pro 20—30 Wagen ein Kontrolleur mit 2000—2500 Mk. Jahresgehalt; ein Schlosser pro 10 Wagen 5—8 Mk. pro Tag, ein Wagenputzer für 10 Wagen zu 3—5 Mk. pro Tag, siehe auch S. 535. Eine Wagenstunde kostet also hierzulande 0,7—0,9 Mk. an Löhnen. Pro km Gleis kann man auf 10—30 Angestellte rechnen. Pro Wagen sind die Unterhaltungskosten 500—1000 Mk. im Jahr. Für Stadtbahnen gelten etwa folgende Jahresgehälter:

Stationsvorsteher	2000—2500 Mk.,
Zugführer	1500—2500 „
Fahrkartenverkäufer	900—1200 „
Streckenarbeiter	1400—1800 „

Eine amerikanische Vorortbahn mit Drehstrom-Gleichstrom hat folgende Ausgaben pro km Gleis und Jahr (160 km Länge, 200 Züge pro Tag in jeder Richtung):

Elektrische Energie	6500 Mk.,
Umformerstationen	400 „
Löhne für das Wagenpersonal	2300 „
„ für das Stationspersonal	2200 „
Gehälter	1300 „
Unterhaltung der Wagen	2400 „
„ des Gleises	2600 „
Summa	18000 Mk.

Pariser Untergrundbahn (Betriebskosten pro km Strecke [25 km total]):

Generalunkosten	50 000 Mk.,	
Betriebspersonal	65 000 „	
Strom	80 000 „	
Wagen	32 000 „	(132 Motor- und 330 Anhängewagen.)
Oberbau, Stationen	17 000 „	
	244 000 Mk.	

Betriebsdauer der einzelnen Teile bis zum Eintritt einer Reparatur:

	Kontroller	Motoren	Trolley	Zahnräder	Bremsen	Lager	Räder	
	10—80	15—70	20—200	30—450	4—35	15—450	35—900	Tausend Wagen-km.
Mittel	14	33	49	54	7	28	87	

Digitized by Google

Die Züricher Straßenbahn mit 23 km Strecke, 150000 Einwohner, 100 Motor- und 12 Anhängewagen hat folgendes Personal:

1 Direktor,	82 Kondukteure,
1 Betriebsinspektor,	82 Wagenführer,
2 technische Assistenten,	5 Abrechner,
1 Geometer,	20 Streckenreiniger,
1 Betriebsassistent,	14 Wagenreiniger,
4 Depotvorstände,	1 Magazinverwalter,
3 Stationsvorstände,	8 Kanzlisten,
1 Bahnmeister,	3 Maschinisten,
1 Buchhalter,	2 Heizer,
7 Kontrolleure,	68 Werkstätten- und Linienarbeiter

und eine größere Zahl von Reservefahrpersonal.

4. Betriebskosten pro Wagen-km (Beispiele):

Ein Motorwagen von 8—15 t braucht pro Wagen-km

250—500 Wattstunden auf ebener Strecke,
500—900 „ auf Steigungen (Bergbahnen 1500—3000),
2,5—4,0 kg Kohle (7000—8000 WE),
2 Anhänger = 1 Motorwagen.

a) Straßenbahnen (total 10—60 Pf. pro Wagen-km, Mittel 30 Pf.). Bei 14 Arbeitsstunden und einem x-Minutenbetrieb werden auf a km Strecke jährlich $\frac{2.60.14.365}{x}\,a = \frac{613000}{x}\,a$ Wagen-km zurückgelegt mit ca. $\frac{12000}{x}\,a$ bis $\frac{20000}{x}\,a$ Mk. Ausgaben. Beispiele:

α) Elektrische Energie (pro Wagen-km = ∾ 10 Tonnen-km) . . . . . 8 Pf.,
Löhne für das Wagenpersonal . . . . . 4,5 „
„ für das übrige Personal . . . . 7 „
Unterhaltung: Wagen . . . . . 3 „
Gleis und Gebäude . . . 2 „
Oberleitung . . . . . 0,5 „
Verwaltung . . . . . 3 „
Steuern, Versicherung . . . . . 4 „
32 Pf./Wagen-km.

β) Elektrische Energie . . . . 3—8 Pf. pro Wagen-km,
Zugskosten (Personal) . . . . 7—12 „ (Anhänger 2,5—4 Pf.),
Unterhaltung und Reparatur . 2—4 „
Total 12—25 Pf. pro Wagen-km.

Digitized by Google

γ) Amerikanische Straßenbahnen.

	Pf./Wagen-km:	
Zentrale:		
Brennmaterial	2,2	
Oel, Putzmaterial	0,5	
Löhne (mech. Teil)	1,9	
„ (elektr. Teil)	0,5	
		5,1 Pf.
Fahrkosten:		
Löhne des Wagenpersonals	11,5	
„ des Streckenpersonals	0,8	
Reinigung und Inspektion	0,7	
Oel. Putzmaterial	0,3	
Unfälle	0,2	
Diverses	0,2	
		13,7 Pf.
Instandhaltung:		
Gleis	1,2	
Oberleitung	0,4	
Zentrale: Maschinen und Kessel	0,5	
Dynamos	0,3	
Diverses	0,1	
Wagen: Motoren	1,7	
Apparate und Trolley	1,4	
Wagen selbst	1,2	
		6,8 Pf.
Generalunkosten:		
Bureaupersonal	1,9	
Bureauunkosten	0,3	
Drucksachen	0,1	
Steuern	0,2	
Versicherungen	0,4	
Diverses	0,2	
		3,1 Pf.
		28,7 Pf. pro Wagen-km.

Uppenborn setzt die Betriebskosten:

Stromerzeugung . . . . 5,03 Pf. pro KW-Stde (Kohle 3,86 Pf., Schmier- u. Putzmittel 0,18 Pf., Unterhaltung 0,15 Pf., Löhne 0,84 Pf.),

Oberleitung . . . . . 0,17 Pf. pro Wagen-km,

Gleisanlage . . . . . 0,04 Pf. pro Tonnen-km,

Betriebsmittel . . . . 2,07 Pf. pro Wagen-km,

Fahrdienst . . . . . 6,6 Pf. pro Wagen-km,

Reine Betriebskosten total 16,3 Pf. pro Wagen-km (inkl. Steuern, exkl. Verzinsung),

Erneuerungsfonds . . . 2,7 Pf. pro Wagen-km.

Digitized by Google

b) Aeltere Untergrund- oder Hochbahn mit 25 Tonnen-Zügen:

Energie	30(—100)	Pf. pro Zugs-km,
Unterhaltung der Wagen	25	„ „ „
„ der übrigen Teile	3	„ „ „
Betriebskosten (Löhne etc.)	40(—100)	„ „ „
Generalunkosten	10(—50)	„ „ „
Steuern, Versicherungen	4	
Total	112(—300)	Pf. pro Zugs-km.

c) Pro Wagen-km zu 50 Tonnen-km sind die Ausgaben für eine amerikanische Hochbahn:

Elektrische Energie	3,3 Pf.,
Löhne für das Wagenpersonal	6,2 „
„ für die Stationen	1,9 „
Unterhaltung der Wagen	3,3 „
„ des Gleises	1,7 „
Diverses	0,5 „
Generalunkosten, Gehälter	2,2 „
Steuern und Gerichtskosten	3,0 „
	22,1 Pf.
Für rotierende Umformer	1 „
Total	23,1 Pf. pro Wagen-km.

Potter gibt für eine Vorortbahn mit Zügen von 4 Wagen je zu 40 t (ohne Lokomotive oder ohne elektrische Ausrüstung) folgende Betriebskosten pro Zugs-km:

	Dampf	Elektrizität
Kohle oder entsprechende elektrische Energie	36,5 Pf.	25,5 Pf.
Wasser	1 „	— „
Zugpersonal	30 „	17 „
Unterhaltung	16 „	10 „
Verschiedenes	1,5 „	0,5 „
Total	85,0 Pf.	53,0 Pf.

Auf der New Yorker Hochbahn ergaben sich folgende Zahlen:

	Dampf	Elektrizität
Totale Betriebskosten pro Wagen-km (ca. 50 t-km)	33 Pf.	24 Pf.
„ „ „ Fahrgast	7,3 „	5,1 „

Für Güterzüge berechnet Potter bei verschiedenen Betriebsverhältnissen folgende Betriebskosten pro 1000 Tonnen-km:

	Große Steigung	Mittel	Erzzüge
Dampf	2,90 Mk.	1,82 Mk.	0,57 Mk.
Elektrizität	1,78 „	1,32 „	0,36 „

Auf der elektrischen Valtellinabahn betragen die totalen Betriebskosten 1,59 Mk. pro 1000 Tonnen-km, auf einer entsprechenden Dampfstrecke Oesterreichs 3,40 Mk. Bei größerer Verkehrsdichte und voller Ausnutzung der Kraftwerke sinken die elektrischen Betriebskosten auf 1,34 Mk. pro 1000 Tonnen-km. Pro Lokomotiv-km sind die tatsächlich eruierten Betriebskosten 3,53 Mk.

Digitized by Google

d) Ausgaben pro Wagen-km zu 20 Tonnen-km (Ueberlandbahnen):

Verzinsung	100 Pf.,
Abschreibung für das rollende Material	8 „
„ für die Bahn und das Gebäude	10 „
Energie und Unterhaltung der Wagen	20 „
Unterhaltung der Bahn und Gebäude	4 „
Verwaltung	4 „
Personal (Löhne)	8 „
Versicherung, Steuern	5 „
	159 Pf.

e) Betriebskosten für Akkumulatorenwagen pro Wagen-km (20 bis 30 Tonnen-km):

Unterhaltung des Gleises	5 Pf.,
„ der Wagen	15 „
„ der Batterien	7 „
„ Gebäude	1 „
Energie	18 „
Löhne	19 „
Generalunkosten, Verwaltung	15 „
Steuern etc.	7 „
	87 Pf. pro Wagen-km.

Gasolinwagen von 55 t mit Elektromotoren 35—50 Pf. Betriebskosten pro Wagen-km.

f) Betriebskosten pro Wagen-km für Straßenbahnen mit Schlitzkanal:

Energie	4,5 Pf.,
Löhne	8 „
Instandhaltung:	
Schlitzkanal	3 „
Wagen	4 „
Motoren	1 „
Gebäude etc.	0,5 „
Generalunkosten	4 „
Abschreibung und Zinsen	2 „
	27,0 Pf. pro Wagen-km.

Bei anderen derartigen Bahnen ergeben sich 15—40 Pf.

Für Neben- und Kleinbahnen gelten folgende Angaben pro Jahr und pro 1 Kopf der Bevölkerung, die zu einem Bahnhof gehört:

Beschäftigung der Bevölkerung	Anzahl Reisender	Tonnen Güter
Ackerbau und Viehzucht	7	1,5
Ackerbau, Handel und etwas Industrie	10	2,5
Lebhafte Industrie	12	3,5

Digitized by Google

Auf Nebenbahnen verkehren 3—10 Züge pro Tag in beiden Richtungen je zu 1—10 Wagen.

Für Straßenbahnen siehe S. 541.

Die Betriebskosten von Akkumulatorenwagen auf Straßen haben sich zu rund 1 Mk. pro Tonnen-km ergeben.

5. Einnahmen. Straßenbahnen: Pro Wagen-km 25—70 Pf., pro Jahr bei e Einwohnern: $6 \cdot e^2 \cdot 10^{-5}$ Mk.

Fahrkarten 10 Pf. für 1—3 km, 20 Pf. 2—10 km, Arbeiter 5—10 Pf.; Monatsabonnement 5—30 Mk. Pro beförderte Person Einnahmen im Mittel 5—20 Pf. (meist 8—13).

Auf Stadtbahnen: 10 Pf. III. Kl., 15 Pf. II. Kl. innerhalb 5 Stationen, darüber 15 und 20 Pf. oder 20 und 30 Pf.

Für längere Bahnen mag als Norm dienen:

IV. Klasse	III. Klasse	II. Klasse	I. Klasse
2 Pf.	3—4,5 Pf.	4—7 Pf.	6—9,5 Pf. pro km

Die Frachtsätze sind auf S. 528 und 569 angegeben; pro 10 kg Gepäck und 10 km 2 bis 4 Pf.

Der Ertrag der deutschen Vollbahnen ist 3,3—4,4 Pf. pro Tonnen-km Güterzug und 2,5—3,2 Pf. pro Tonnen-km Personenzug.

Auf Bergbahnen ist die Frequenzziffer pro Jahr 30 000—300 000 Personen, der Preis für die Hin- und Rückfahrt 1—20 Mk., die Betriebskosten pro km Länge sind 7000—30 000 Mk. oder 35—60 % der Einnahmen, die pro km 18 000—60 000 Mk. betragen.

6. Beispiel für die gesamten Anlage- und Betriebskosten (Bostoner Hochbahn):

Anlagekosten pro km Gleis:

Oberbau	54 000 Mk.,
Stromzuführung	17 300 „
Wagen	55 600 „
Kraftwerke	32 500 „
Wagenschuppen und Werkstätten	27 300 „
Sonstiges Grundeigentum	27 900 „
	214 800 Mk.

Einnahmen pro Wagen-km . . . . . 77,2 Pf.,

Ausgaben pro Wagen-km:

Streckenunterhaltung (davon für den elektr. Teil 1,2 Pf.)	10,3 Pf.,
Unterhaltung der Betriebsmittel (elektr. Teil 1,6 Pf.)	5,4 „
Energie	5,6 „
Fahrkosten (Löhne)	25,0 „
Generalunkosten	8,7 „
Summe	55,0 Pf.

Digitized by Google

Transport	55,0 Pf.
Steuern, Abgaben (ca. 5 % der Roheinnahmen)	3,3 „
Abschreibung	0,3 „
Tilgung	1,3 „
Verzinsung	4,3 „
Totale Ausgaben pro Wagen-km	64,2 Pf.

7. Elektrische Bergbahn. Projekt auf die Zugspitze von W. A. Müller; 16,3 km Bahnlänge, 2,2 km Höhenunterschied, bis 500 ‰ Steigung (Motorwagen für 56 Personen, 1 Anhänger für 65 Personen):

Anlagekapital:	Mk./km Bahnlänge	
Grunderwerb	19 000	
Hochbauten (Bahnhöfe etc.)	45 000	
Bahnbau, davon 4 km Zahnstange	55 000	(im Mittel pro km für die Zahnradstrecke allein 170 000 Mk./km)
Kraftwerk (Dampf, Akkumulatoren)	11 000	
Rollmaterial	12 000	(60 % davon für die Zahnstangenstrecke)
Stromzuleitung, Oberleitung und dritte Schiene, inkl. Speiseleitung und Schienenverbinder	12 000	(pro km Oberleitung 11 000 Mk., pro km dritter Schiene 12 000 Mk.)
Signalanlagen	800	
Bahnhofanlagen	1 200	
Weganlagen etc.	2 800	
Verwaltung	4 400	
Bauzinsen	8 500	
Rerservefonds und Diverses	11 000	
	125 000 Mk./km Bahnlänge.	

Betriebsausgaben bei täglich 2 . 8 . 16 = 256 Zugs-km in beiden Richtungen zusammen während 5 Monaten, 1 Zugs-km = 16 Tonnen-km (Motorwagen allein) bis 26 Tonnen-km (samt Anhänger), pro Saison 150 . 256 = ∽ 40 000 Zugs-km oder im Mittel 800 000 Tonnen-km:

Brennmaterial	16,5 Pf.	pro Zugs-km (pro 20 t-km),
Schmier- und Putzmaterial	3,5 „	„ „
Löhne, Zentrale	13 „	„ „
Fahrpersonal	20,5 „	„ „
Verwaltung	24 „	„ „
Steuern und Versicherung	37,5 „	„ „
Abgaben für Straßenbenützung etc.	29 „	„ „
Verzinsung des Kapitals (4 %)	200 „	„ „
Abschreibungen	164 „	„ „
Unterhaltung und Reparatur	70 „	„ „
Diverses	46 „	„ „
	625 Pf. pro Zugs-km oder ca. 30 Pf. pro Tonnen-km.	

Pro km Strecke sind die Betriebskosten 6500 Mk.

Digitized by Google

Die 9 km lange elektrische Zahnradbahn (1 m Spur) auf den Mont Salève hat 200000 Mk. pro km gekostet, und zwar der Oberbau samt Zahnstange und Stromschiene 40000 Mk./km, die Erdarbeiten und Kunstbauten 35000 Mk., die Betriebsmittel 26000 Mk./km, das Kraftwerk 36000 Mk./km.

Elektrische Drahtseilbahn auf den Bürgenstock (ca. 1 km):

Unterbau und Grunderwerb	140000	Mk./km,
Oberbau- und Hochbauten	80000	„
Betriebsmittel und mechanischer Teil .	20000	„
Elektrische Einrichtung und Kraftwerk .	40000	„
	280000	Mk./km.

Elektrische Bergbahn Triest-Opčima: 80 Pf. totale Betriebskosten pro Wagen-km, davon 30 Pf. Stromkosten (maximale Steigung 250 ‰). Lokomotivgewicht = 11 t, dazu ein Personenwagen für 44 Personen 13 t, V = 7,2 km/Stden, Tagesleistung pro Lokomotive = 30 km und 4800 m Höhendifferenz; Stromverbrauch pro Wagen-km: 1900 Wattstunden an der Gleichstromschalttafel, 2700 Wattstunden in der Drehstromzentrale. Pro Jahr über 100000 Wagen-km und gegen 250000 Fahrgäste.

Weitere für die Projektierung von elektrischen Bahnen erforderliche Daten findet man in Niethammer, Elektrische Bahnsysteme S. 12, 36, 107.

Die elektrisch betriebenen Straßen- und Kleinbahnen Deutschlands umfassen 5500 km Gleis und 9100 Motorwagen, das Anlagekapital ist etwa 900 Mill. Mk. (inkl. Zentrale); 174 Verwaltungen, 4200 ständige Beamte; pro Jahr 1 Milliarde 400 Millionen Fahrgäste, d. h. 25 Fahrten pro Einwohner; Betriebseinnahmen 150 Mill. Mk. pro Jahr oder 10,6 Pf. pro Fahrgast; Ueberschuß für Verzinsung und Dividende = 38 Mill. Mk. (= 4½ %). — Im Rheinland kommen auf 10000 ha Fläche 1,5 km Kleinbahnstrecke bezw. 1 km auf 10000 Anwohner, in Belgien 6,5 km pro 10000 ha bezw. 2,9 km pro 10000 Anwohner, für Amerika siehe S. 541.

Digitized by Google

Anhang zum ersten Teil.

Zu S. 107. Boje macht auf Grund von Messungen folgende Angaben über Schalttafelverluste: Die Stromdichte in den untersuchten Schalttafelleitungen lag zwischen 0,13 und 2,27 Amp./qmm, im Mittel 1,31; die Stromdichte in ruhenden Kontaktflächen schwankt zwischen 1,08 und 0,011 Amp./qmm, im Mittel 0,19. Dabei ist der Spannungsabfall pro Amp. und qcm 0,02—25,1 Millivolt, im Mittel 1,26. Für bewegliche Kontakte ist die Stromdichte 0,076—0,63 Amp./qmm (Mittel 0,20) und der Abfall pro Amp. und qcm 0,40—4,6 Millivolt (Mittel 1,41). Die Schalttafelverluste inkl. den Apparaten für die Batterie und Leitungen betragen etwa 2400 KW-Stden bei einer Nutzleistung von 193000 KW-Stden, d. h. 1,25% der letzteren. Diese 2400 KW-Stden verteilen sich folgendermaßen: Maschinen 280, Batterie Entladung 340, Ladung 1200, Generalinstrumente und Zähler 580 KW-Stden. Die Schalttafel hatte elektromagnetische Instrumente, durch Verwendung von Drehspuleninstrumenten lassen sich die Verluste auf $^1/_3$ reduzieren. Die Verluste in den beweglichen Kontaktflächen können durch Verwendung von elektrisch leitenden Schmiermitteln auf die Hälfte reduziert werden. Der Widerstand ruhender Kontaktflächen ist bei Einlage von etwa 0,04 mm starkem Stanniol oder Kupfer am geringsten.

S. 129. Die Zentrale Cellina ist inzwischen in der Z. f. E., Wien, August 1905, noch ausführlicher beschrieben unter Beigabe eines Leitungsschemas: Die Hochspannungsfernleitungen enthalten je einen von Hand und einen automatisch betätigten Oelschalter, letzterer wird immer zuerst geschlossen; der mittels Handrad und Kettenübersetzung zu schließende automatische Schalter kann auf vier verschiedene Weisen geöffnet werden: durch ein elektrisches Ueberlastrelais, durch einen elektrischen Druckknopf, durch Herausziehen eines Knopfes, der eine mechanische Kupplung löst und eine Feder freigibt und schließlich durch Zurückdrehen des Handrades. Auch die Erregerschalter liegen unter Oel. Die drei an den Fernleitungen liegenden Voltmeter sind in Stern verkettet, der Nullpunkt kann durch einen einpoligen Oelschalter an Erde gelegt werden, worauf die Voltmeter als Erdschlußprüfer wirken. Die 4000 Volt-Leitungen sind in der Zentrale asbestisoliert, die 30000 Volt-Leitungen sind Okonitkabel, beide Sorten liegen überdies auf hohen gerillten Isolatoren (Fig. 152). Die 30000 Volt-Leitungen stehen 40 cm voneinander und 20 cm von der Wand ab; sie sind durchweg rot angestrichen, während die 4000 Volt-Leitungen alle blau und die 110voltigen schwarz sind. Die einzelnen Phasen sind durch weißen, gelben und grünen Anstrich an allen Abzweigungen und Biegungen oder Durchführungen kenntlich gemacht. Die Gestelle der Schalttafeln,

Digitized by Google

die Gehäuse der Transformatoren und Schalter, ja sogar jede einzelne Isolatorstütze ist durch einen 6 mm starken Kupferdraht geerdet. Bevor an einem abgetrennten Transformator gearbeitet wird, schaltet man nicht allein die beiderseitigen Hauptölschalter aus, sondern unterbricht noch einen direkt über dem Transformator montierten Messerschalter, den man nach unten umlegt, wodurch die Primär- auf die Sekundärwicklung kurzgeschlossen wird und beide an Erde gelegt werden. Die jetzt für 36000 Volt in Dreieck geschalteten Transformatoren können später für 50000 Volt in Stern verkettet werden. Die Transformatoren sind mit registrierenden Thermometern versehen, die bei Ueberschreitung einer bestimmten Grenztemperatur eine Glocke an der Schalttafel zum Ertönen bringen. Zwischen den 4000 Volt-Klemmen der Transformatoren sitzen Wurtzsche Blitzschutzrollen, welche beim Ueberspringen der 30000 Volt den Generatorkreis kurzschließen, so daß der automatische Oelschalter unterbricht. An Blitzschutzvorrichtungen, die je für einen einzigen Fernleitungsdraht auf einem separaten Gestell aus armiertem Zement montiert sind, hat man vorgesehen: Vier in Serie geschaltete bandförmige Drosselspulen, von deren Verbindungsstellen je ein Satz Rollenblitzableiter abzweigt, d. h. es sind vier parallele Wege von Funkenstrecken vorhanden, ein Teil derselben ist durch einen Graphitwiderstand nebengeschlossen. Außerdem zweigen von der Fernleitung ab zwei in Serie geschaltete Hörnerblitzableiter mit je 15 mm Luftstrecke und parallel dazu liegt Golas Serienblitzableiter. In der gemeinsamen Erdleitung für die sechs parallelen Schutzvorrichtungen liegen zwei hintereinandergeschaltete Flüssigkeitswiderstände von je 30000 Ohm (Tongefäße mit Kupfervitriollösung).

S. 225, Fig. 309: Es ist zu beachten, daß die beiden Stromtransformatoren über Kreuz verbunden sind (E. P. 2450 vom Jahre 1904).

S. 227, Zeit- und Rückstromschalter: Das Maximalzeitrelais von Brown, Boveri & Co. hat folgende Auslösezeiten:

Strom . . .	100	140	150	175	200	300 % des Normalen,
Auslösezeit .	∞	40	17	6,5	4	2 Sekunden.

Durch Variation der Zahl der acht Belastungsscheiben kann der minimale Auslösestrom von 1,05 Amp. bei acht Scheiben bis auf 0,47 Amp. in acht Stufen eingestellt werden. Dieses Relais wird in der Regel durch Stromtransformatoren in allen drei Phasen betätigt, so daß Ueberlastungen einer Phase ausgeschlossen sind. Das Relais kann sowohl einen Gleichstrom- wie einen Wechselstrommagneten einschalten, der dann den Oelschalter öffnet oder aber das Relais beeinflußt eine mechanische Auslösung, d. h. die Aluminiumscheibe hebt bei Ueberstrom ein Gewicht, das in einer bestimmten Höhe also nach einer bestimmten Zeit zurückfällt und den Schalter ausklinkt. Für Motoren wird das Brownsche Maximalrelais auch mit einem Nullspannungsrelais kombiniert, das den Oelschalter öffnet, sobald die Spannung ausbleibt. Dabei wird der Schalter durch drei Spannungsspulen geschlossen gehalten, in den Stromkreisen dieser Spannungsspulen liegen Schalter, die durch die Ueberlastrelais geöffnet werden. Das Relais Fig. 311 wird auch als Rückstromrelais ausgebildet, es besteht dann aus drei Aluminiumscheiben je mit zwei Wechselstrommagneten, einer liegt an einem Strom-, der andere an einem Spannungstransformator, siehe Electrical World 1905, 3. Juni.

Das Zeitrelais der Siemens-Schuckert-Werke (D. R.-P. 159167) besteht aus einem Wechselstrommagneten m, der entgegen einer Feder bei Ueberstrom angezogen

Digitized by Google

wird und damit ein Gewicht freigibt, welches ein vielfaches Räderwerk in Drehung versetzt. Die Bewegung des Räderwerks wird durch eine pendelnde Hemmung verlangsamt, das Räderwerk dreht außerdem einen Kontaktarm, der am Schlusse seiner Drehung den Hauptschalter vermittels eines Hilfsstromkreises auslöst. Die Auslösezeit ist hier ganz unabhängig von der Größe der Ueberlastung, sie ist stets konstant. Für sehr hohe Ueberströme (Kurzschlüsse) ist allerdings eine momentane Unterbrechung vorgesehen, die darin besteht, daß der Anker des erstgenannten Wechselstrommagneten m die Federkraft eines zweiten Hilfsschalters überwindet und damit unter Umgehung des Räderwerkes direkt ausschaltet. Die Siemens-Schuckert-Werke haben auch ein Drahtbruchrelais entwickelt, das den Hauptschalter auslöst, wenn die Ungleichheit der Belastung in den einzelnen Drehstromzweigen 30 % übersteigt. Zur Erhöhung der Empfindlichkeit wird das Drahtbruch- und das Rückstromrelais mit einem Schüttelmagneten ausgerüstet.

In den Proc. Am. Inst. El. Eng., Mai 1905, bespricht Chellis ein Differentialrelais, das bei Kurzschluß und Stromumkehr öffnet. Das Relais wird von einem Strom- und einem Spannungstransformator der Drehstromleitung so gespeist, daß die zwei Relaisspulen auf gemeinsamen Kern sich unter etwa 120° entgegenwirken und nur eine kleine Resultierende übrigbleibt. Bei Kurzschluß sinkt die Spannung und die Stromspule überwiegt, das Relais wirkt dann z. B. bei 70 % des vollen Kurzschlußstroms; bei Stromumkehr und zwar schon bei kleinem Rückstrom addieren sich unter 60° Strom- und Spannungsspule in ihrer Wirkung. Ein derartiges Relais wirkt z. B. bei einem Kurzschluß von 5 Amp. (Kurzschlußstrom selbst 6,7 Amp.), bei einer Ueberlast von 8,8 Amp. und voller Spannung und bei 1,1 Amp. Rückstrom. Die Einstellung solcher Differentialrelais hängt auch wesentlich vom cos φ ab.

S. 235, Fig. 327: Die Theorie des Solenoids ist auf S. 443 gegeben, siehe auch E.T.Z. 1905, S. 630.

S. 244: Schalttafelinstrumente sind so zu wählen, daß bei mittlerer Belastung der Zeiger zwischen $^1/_2$ und $^2/_3$ der Skala steht; Zähler sollen bei Normallast der Leitung vollbelastet sein. Da die Speiser häufig sehr gering belastet sind, lege man die Zähler in die Generatorleitungen. Schalttafelinstrumente sind von Zeit zu Zeit zu eichen und zu justieren, wofür von vornherein Vorsorge zu treffen ist. Die Zähler eiche man öfters mit Hilfe von Normalzählern. Auch Eisengestelle von Schalttafeln können Instrumente ohne Eisenschirm beeinflussen.

S. 256: Die Westinghouse Co. baut neuerdings einen dreiphasigen Erdschlußprüfer (Oesterr. Patent 19918), der aus drei sektorförmigen metallenen Kugelflächen besteht, welche um 120° versetzt feststehend angeordnet und mit den drei Leitungen direkt verbunden sind; innerhalb dieser Hauben kann sich eine metallene, an Erde liegende Kugelhaube beliebig drehen; siehe auch Niethammer, Elektrotechn. Praktikum Fig. 493.

S. 258: In jüngster Zeit sind eine Reihe selbsttätiger Synchronisiervorrichtungen auf den Markt gekommen, z. B. von Voigt & Häffner, Westinghouse Co., General Electric Co. etc. Die Konstruktion von Voigt & Häffner (E.T.Z. 1905, S. 443) besteht aus einem Differentialkontaktvoltmeter, das ein Ruhestromrelais unterbricht, wenn die Spannung der zuzuschaltenden Maschine etwas höher ist als die Sammelschienenspannung, ferner aus einem Kontaktvoltmeter parallel zur Phasenlampe, das beim Aufleuchten der letzteren geschlossen wird. Dieses Phasenkontaktvoltmeter, das aber erst wirken kann, wenn obiges Ruhestromrelais unterbrochen ist, ist mit einem Zeitrelais kombiniert; dieses Zeitrelais schließt

Digitized by Google

den Hilfsstromkreis, welcher den Hauptschalter einrückt, sobald die Phasenlampe längere Zeit auf „hell" bleibt. — Wesentlich einfacher ist das automatische Synchronisierrelais der General Electric Co. (U. S. P. 792035): Der Hilfsmotor des automatischen Schalters (Fig. 235 u. 247) wird durch ein Relais eingeschaltet, das durch zwei Spulen erregt wird, eine liegt zwischen zwei Leitungen gleicher Phase der beiden parallelzuschaltenden Maschinen, die andere zwischen zwei Leitungen verschiedener Phase; hinter diesem Relais befindet sich noch ein zweites, das zwischen anderen Leitungen verschiedener Phase der beiden Generatoren angeschlossen ist und gleichzeitig mit dem anderen geschlossen sein muß. — Der „automatic synchronizer" der Westinghouse Co. ist in Electric Club Journal, Mai 1905 beschrieben: Das Synchronisierrelais besteht dabei einfach aus zwei Spulen, die genau wie eine Phasenlampe für Hell- und für Dunkelschaltung angeschlossen sind; die Eisenkerne beider Spulen sind an einem Wagebalken befestigt, dessen Bewegung stark gedämpft ist. Sobald einige Zeit Synchronismus herrscht, dreht sich der Balken in eine Endlage und macht Kontakt für einen Hilfskreis, der den Hauptschalter schließt. Ein selbsttätiger Parallelschalter ist übrigens schon in D. R.-P. 137793 beschrieben.

S. 260, Fig. 369: Der Widerstand dieses Kohlenblitzableiters hat etwa 50000 Ohm, die verkohlte Strecke ist 10 mm lang. Bez. Blitzableiter siehe auch diesen „Anhang" zu S. 129. — Um die Schlagweite von Funkenstrecken für Ueberspannungssicherungen und Blitzableitern bei niedrigen Spannungen zu erhöhen, gibt es verschiedene Mittel (E.T.Z. 1905, S. 485, Dina): Verwendung scharfkantiger Elektroden, Ionisierung der Funkenstrecke durch ultraviolettes Licht, das durch eine Hilfsfunkenstrecke geschieht (S. 273 unten), ferner kann man die in der Anlage auftretenden Oszillationen selbst in geeigneten Kombinationen von Selbstinduktion und Kapazität oder durch eine Geißlersche Röhre hinter einem Transformator Spannungssteigerungen hervorrufen lassen. Die Siemens-Schuckert-Werke verwenden zur Erhöhung der Empfindlichkeit der Hörnerblitzableiter parallel zu diesem und hinter dem Erdwiderstand das von Dina angegebene Blitzableiterrelais. Es beruht auf dem passenden Gebrauch eines besonderen Schwingungskreises, der aus zwei Zweigen besteht, wovon der eine Zweig einen Kondensator und die Primärwicklung eines kleinen Tesla-Transformators, der andere eine Hilfsfunkenstrecke und einen zweiten Kondensator enthält. Die im Schwingungskreise auftretenden Eigenschwingungen werden in einfacher Weise benützt, um zwischen den Hörnern des Blitzableiters eine höhere Spannung zu erzeugen. Die in der vorerwähnten Primärwicklung fließenden oszillatorischen Ströme rufen in der Sekundärwicklung des kleinen Tesla-Transformators eine hohe elektromotorische Kraft hervor, und da diese Spule mit einem Ende direkt, mit dem anderen Ende durch Vermittlung der Zweige des Schwingungskreises mit den Hörnern verbunden ist, so ist die an diesen resultierende Spannung bedeutend höher als die zunächst vorhandene.

In dem Oesterr. P. 19916 ist eine Registriervorrichtung für Ueberspannungen angegeben, die darin besteht, daß die Funkenentladungen eine Frittröhre zum Ansprechen bringen, welche nach Art der Funkentelegraphie das Funkenüberspringen registriert.

S. 338, Fig. 457, Zellenschalter: In E.T.Z. 1905, S. 437 findet sich ein Aufsatz über Leitungen sparende Zellenschalter; Fig. 457 entspricht dem D. R.-P. 96721, Zusatz zu 95355. Siehe ferner E.T.Z. 1903, S. 809, wo an einem Batterieende ein Zellenschalter für jede zweite Zelle sitzt, am anderen eine einzelne Zelle, die man beliebig ein- und ausschalten kann. Liebenow kombiniert ebenfalls zwei Zellenschalter, am einen Batterieende sind die sämtlichen n Stück Abschalte-

Digitized by Google

zellen, die je in Gruppen zu h Zellen abgeschaltet werden, am anderen Batterieende sitzt ein Zellenschalter, der die h letzten Zellen einzeln ab- und zuschalten läßt. Statt n Zellenschalterleitungen braucht man dann bloß $\frac{n+h^2}{h+1}+2$ Leitungen, am besten ist es, $h=\sqrt{n+1}-1$ zu machen.

S. 345, 1. Abschnitt: Ein als Drosselspule ausgebildeter Gleichstromanlasser mit variablem Luftspalt ist in U.S.P. 787738 angegeben.

S. 437: Bremsmotoren, die zu Umsteuermotoren gehören, können entweder sich stets im gleichen Sinne drehen oder in gleicher Weise wie der Hauptmotor reversiert werden. Im zweiten Fall müssen sie eine mechanische Uebersetzung besitzen, welche das Bremsgestänge stets in gleicher Richtung betätigt, ob der Bremsmotor sich vor- oder rückwärts dreht, siehe Niethammer, Mod. Ges. f. d. Entw. elektr. Masch. u. Apparate, Fig. 200. Im ersten Falle muß im Steuerapparat eine Schaltvorrichtung vorgesehen sein, welche dem Bremsmotor stets Strom im gleichen Sinne gibt (Fig. 545 u. 546).

Digitized by Google

Anhang zum zweiten Teil.

S. 475: In dem beachtenswerten Aufsatz von Schulthes (Glasers Annalen 1905, 1. Juli) finden sich folgende Angaben über den elektrischen Energieverbrauch an Bord von Handelsschiffen:

Registertons Brutto Raumgehalt	2000	5000	7500	2000	5000	8000	13500	10000	16000	20500
KW für Licht (auf See) .	9	16	32	16	27	42	73	101	155	172
KW für Kraft[1]) (auf See) .	60	107	145	75	128	189	368	378	510	566
KW für Lösch- und Ladebetrieb (im Hafen) . .	84	88	92	60	85	95	115	60	65	70
	Frachtdampfer			Fracht- und Passagierdampfer				Schnelldampfer		

Spannung 110 Volt Gleichstrom.

Für Kriegsschiffe können dieselben Werte angenommen werden, falls das Deplacement durch 2 dividiert wird.

1/3—1/2 der KW für Kraft entfallen auf Hilfsmaschinen für maschinelle Zwecke (Kesselgebläse und -pumpen, Kohlenwinden etc.), 1/4—1/5 auf Hilfsmaschinen für seemännische Zwecke (Bootswinden, Rudermaschinen etc.), 1/2—1/3 auf Hilfsmaschinen für sanitäre und Sicherheitszwecke; für Signale und Kommandos 3—4 KW.

Zu S. 560: Der Güterverkehr auf elektrischen Kleinbahnen kostet nach Arthur Ertel (Eisenbahntechnische Zeitschrift 1905) unter Annahme mittlerer Verhältnisse pro t-km beförderter Nutzlast:

1. Stromkosten (55 Wattstunden pro t-km Nutzlast) .	0,55 Pf.
2. Löhne: Fahrer: 0,19 Pf. Bremser: 0,40 „	0,59 „
3. Ladegebühren	1,25 „
4. Erhaltung, Erneuerung, Tilgung	1,10—2,30 „
5. Verwaltungskosten	0,20 „
	3,69—4,89 Pf.

Dabei sind Triebwagen von je 5 t Nutzlast sowie 2/3 Personen- und 1/3 Güterbetrieb angenommen; Lokomotivenbetrieb für 25 bis 30 t Nutzlast wird etwa 10% billiger. Für eine 4% Verzinsung ist annähernd ein Aufschlag von 0,6 bis 1,6 Pf. pro t-km nötig.

Die Gebührensätze (Tarife) für sorgfältig zu behandelnde Güter seien nicht über 15 Pf. pro t-km Nutzlast und für geschüttete Massengüter nicht über 7,5 Pf. Der Staatsbahntarif schwankt dem gegenüber bei 5 km Entfernung von 26 bis 14 Pf. pro t-km, bei 40 km zwischen 10 und 4 Pf. pro t-km Nutzlast. Die Beförderungspreise mit Fuhrwerk betragen dagegen für das t-km 25 bis 30 Pf.

[1]) Wenn alle Hilfsmaschinen elektrisch betrieben werden.

Digitized by Google

Sachregister.

A.

Abstufung der Anlasser 347.
Akkumulatoren 514.
Akkumulatorenschalttafel 10, 17, 77.
Alioth, Schaltanlagen der E.-G. 72, 148.
Anlagekosten 477, von Bahnen 544.
Anlasser 275, 280 (Bemessung), 345 (Einteilung), 347 (Abstufung), 358 Konstruktion).
Anlaßdynamos 419.
Anlaßtransformatoren 345.
Arbeitsmaschinen 529.
Ausschalter siehe Schalter.
Automaten 214.

B.

Bahnen, elektrische 541.
Bahnschalttafeln 8, 82.
Bahnsicherungen 199.
Beanspruchung (Widerstände) 276.
Betriebskosten 531, von Bahnen 555, 569.
Beznau, Schalttafel 125.
Bleiakkumulatoren 514.
Blitzableiter 9, 21, 22, 23, 27, 32, 36, 263.
Blitzschutz 263, 565, 567.
Bremsen, elektrische 429.
Bremsmagnete 234, 431.
Bremsmotoren 436, 568.
Brennmaterialien 533.
Brown, Boveri & Co., Schalttafeln 124, 564.

C.

Cellina, Schaltanlage 129, 564.
Crespi, Schaltanlage 137.

D.

Dampfkessel 505.
Dampfverbrauch 533.
Dimensionierung von Oelschaltern 180, 189, von Sammelschienen und Leitungen 107, von Schaltern 157.
Dosenschalter 152.
Drahtstützen 449.
Drehstromanlasser 372.
Drehtransformatoren 342.

E.

Einheiten, Wahl der Maschinen- 487.
Einnahmen 537, der Bahnen 561.
Einphasenanlasser 384.
Einzelschalteranlasser 408.
Elektromagnete 234.
Elektromotoren 522.
Emailwiderstände 297.
Energiebedarf 470 (Elektromotoren), 474 (elektrolytische Zwecke), 475, 569 (Schiffe).
Erdschlußprüfer 385, 566.
Erregerschalter 160.
Erregerwiderstände 309.
Erwärmung von Widerständen 274, 301.

F.

Federn 243.
Feldschalter 160.
Fernschalter 232.
Ferranti-Tafel 46.
Flachschalttafeln, einfache 3, mehrfache 17.
Flüssigkeitsanlasser 377.
Flüssigkeitswiderstände 302.
Fracht 528, 569.
Freileitungsschalter 173.
Freileitungssicherungen 199.
Funkenlöscher 159, 169, 360.
Funkenspannung 354.

G.

Generatoren, elektrische 509.
Gerüste für Schalttafeln 96.

Digitized by Google

Gewichte der Antriebsmaschinen 498.
Gewichte, spezifische 282.
Gewichtstabellen 456.
Gleichstromautomaten 214.
Graphitanlasser 248.
Grenzschalter 455.
Gruppenschalter 340.

H.

Hauptstromwiderstände 314.
Hausanschlußkästen 63.
Hebelschalter 154, 167.
Hebemagnete 445.
Hebezeuge 529.
Hochspannungsausschalter 25, 32, 94, 167.
Hochspannungssicherungen 202.
Hörnerschalter 172.

I.

Installationsmaterial 523.
Instrumententypen 245.
Isolationsprüfer 385, 566.
Isolatoren 104, 122.

K.

Kabel, elektrische 517.
Kabelanschlüsse 115, 448.
Kabelkästen 64, 448.
Kabelschuhe 108.
Kabeltrommeln 448.
Kabelverteilungskästen 64.
Kohlenanlasser 405.
Kohlenverbrauch 533.
Kompensator 345.
Konsumbestimmung 467.
Kontakte 317.
Kontroller 385.
Kraftbedarf 470 (Bahnen 542).
Kühlung, künstliche, von Widerständen 299.
Kupplungen, elektrische 445.

L.

Langsameinschaltevorrichtung 274.
Leitungen, Preise 517.
— für Schalttafeln 101.
Leitungsausführungen 119.
Lichtbedarf 468.
Liefertermine 528.
Luftschalter 152.

M.

Maßtabellen über Apparate 456.
Materialkosten 525.
Maximalschalter 215, 375.
Meßinstrumente 244, 566.
Meßtransformatoren 118, 256.
Minimalschalter 215, 221, 375.
Montage 528.
Motorregler 315, 410.
Motorschalttafeln 24, 46, 73, 87, 149.

N.

Nebenschlüsse, für Instrumente 252.
Netzspannung 261.
Niederspannungsschalter 152.
Nullstromausschalter 375, 381, 565.

O.

Oelanlasser 299, 364, 367.
Oelschalter 175.
Oelsicherungen 205.
Oerlikon, Schaltanlagen der Maschinenfabrik 139.

P.

Paketwiderstände 295.
Parallelschalten 258.
Partridge-Sicherung 205.
Patronensicherungen 195.
Phasenmesser 248.
Platzbedarf elektrischer Anlagen 485.
— der Antriebsmaschinen 491.
Polaritätszeiger 261.
Potentialregulatoren 342.
Preise der Antriebsmaschinen 499.
Preistabellen (Apparate) 456.
Profilinstrumente 250.
Puffermaschinen 421.
Pultschalttafeln 50, 125, 130.

Q.

Quecksilberschalter 167, 191.

R.

Registrierende Instrumente 261.
Regler 309.
Regulatoren 309.
Regulierwiderstände, selbsttätige 309.
Relais 234.
Röhrenschalter 178.
Röhrensicherung 202.
Rollenschalter 171, 565.
Rückstromschalter 224.

S.

Sammelschienen 101.
Säulenschalttafeln 47, 148, 239.
Schaltanlagen siehe Schalttafeln.

Digitized by Google

Schalter 150, Dosen- 152, Freileitungs- 173, Hebel- 154, 167, Hochspannungs- 25, 32, 94, 167, Hörner- 172, Luft- 152, Niederspannungs- 152, Oel- 175, Quecksilber- 167, 191, Röhren- 173, Rollen- 171, Schnapp- 159, selbsttätige 160, 164, 178, 183, 214, Spezial- für starke Ströme 163, Stöpsel- 173, Trenn- 167, Wasser- 191, wasserdichte 166.
Schalthaus 117.
Schaltkästen 58, 149.
Schaltmagnete 234.
Schaltsäulen 47, 55, 139, 148.
Schalttafelinstrumente 294.
Schalttafeln, Aufbau 3, Bedienung der 68, drehbare 55, Drehstrom- 10, Entwurf der 93, fahrbare 55, 100, Gerüste der 97, Gleichstrom- 5, für konstanten Strom 16, 48, 74, 80, Leitungen für 101, Preise der 516, Prüfung der 118, Verluste an 564.
Schaltungsschemen 74.
Schaltwagen 57, 100.
Schaltwalzen 385.
Schmelzpunkte 211.
Schnappschalter 159.
Schornsteine 506.
Schwungräder 497.
Selbstanlasser 415.
Selbsttätige Schalter 160, 164, 178, 183, 214.
Serienparallelschaltung 356.
Sicherungen 15, 25, 195.
Sicherungspatronen 195.
Solenoide 234, 443.
Spannungen, Wahl der 508.
Spannungssicherungen 274.
Spezialschalter 190.
Steckkontakte 152.
Stöpselschalter 173.
Streifensicherung 197.
Stromzuleitungen zu Hebezeugen 447.
Stufenzahl von Reglern 304, von Anlassern 350.
Synchronisiervorrichtungen 258, 566.

T.

Tarife 538.
Tourenreduktion 491.
Tourenregler 24, 315, 410.
Tourenzahlen der Antriebsmaschinen 487.
Transformatoren (Preise) 513.
— mit abschaltbaren Spulen 341.
Transformatorenhäuschen 64.
Trennschalter 167.

U.

Ueberlastrelais 376, 381.
Ueberspannungssicherung 21, 22, 23, 273, 567.
Umformer (Preise) 513.
Umkehranlasser 307.
Umschalter 192, Voltmeter- 192.
Unkosten 528.
Universalsteuerung 402.
Unterstationen, fahrbare 66.

V.

Verteilungstafeln 46.

W.

Wärme, spezifische 282.
Wahlschalter 194.
Wandschalttafeln 45.
Wasserdichte Schalter 166.
Wasserschalter 191.
Wattmeter 248.
Wechselstromautomaten 223.
Wechselstromregler 341.
Wendeanlasser 367.
Wendekupplung, elektrische 445.
Widerstände 276, 282, spezifische 282.
Widerstandsregler 309, 317.
Wirtschaftlichkeit des Anlassens und Regelns 423.

Z.

Zähler 253.
Zeitelement, Zeitrelais 223, 565.
Zellenschalter 333, 567.
Zellenschalttafeln 45, 47.
Zubehör zu Maschinen (mechanisches) 503, 507.

Digitized by Google

Ahrens, Prof. Dr. F. B., Handbuch der Elektrochemie. Zweite, völlig neu bearbeitete Auflage. Mit 293 in den Text gedruckten Abbildungen. gr. 8°. 1903. geh. M. 15.—; in Leinwand gebunden M. 16.20.

Arnold, Prof. E., Konstruktionstafeln für den Dynamobau. I. Teil. Vierte vollständig umgearbeitete Auflage. **Gleichstrom-Maschinen.** 60 Tafeln. gr. 4°. in Mappe. 1902. — II. Teil. Zweite vollständig umgearbeitete Auflage. **Wechselstrom-Maschinen.** Umformer, Motoren und Transformatoren. 60 Tafeln. gr. 4°. in Mappe. 1902. Preis eines Teiles M. 20.40.

Balling, Prof. Dr. C. A. M., Grundriss der Elektrometallurgie. Mit 40 Holzschnitten. gr. 8°. 1888. geh. M. 4.—

Corsepius, Doz. Dr. M., Die elektrischen Bahnen. Mit 89 in den Text gedruckten Figuren und 7 Tafeln. gr. 8°. 1900. geh. M. 7.—

Drude, Prof. Dr. P., Physik des Aethers auf elektromagnetischer Grundlage. Mit 66 Abbildungen. gr. 8°. 1894. geh. M. 14.—

Gerland, Prof. Dr. E., Lehrbuch der Elektrotechnik. Mit besonderer Berücksichtigung ihrer Anwendungen im Bergbau. Mit 442 Textabbildungen. gr. 8°. 1903. geh. M. 14.—; in Leinwand geb. M. 15.20.

Grunmach, Prof. Dr. L., Lehrbuch der magnetischen und elektrischen Maßeinheiten, Messmethoden und Messapparate. Mit 342 Figuren im Text. gr. 8°. 1895. geh. M. 16.—

Handbuch der elektrotechnischen Praxis.

Herausgegeben von **Arthur Wilke**, Oberingenieur. Erster Band: **Die Massenfabrikation der elektrischen Präzisionsapparate.** Bearbeitet von Carl Schücke, Werkstattdirektor. Mit 325 Abbildungen. gr. 8°. 1903. geh. M. 9.—; in Leinw. geb. M. 10.— Zweiter Band: **Einrichtung und Betrieb elektrotechnischer Fabriken.** Bearbeitet von Prof. Dr. F. Niethammer. Mit 378 Abbildungen. gr. 8°. 1904. geh. M. 14.—; in Leinwand geb. M. 15.20.

☞ **Das Handbuch erscheint in etwa 8—10 Bänden à 15—20 Druckbogen. Jeder Band enthält ein abgeschlossenes Gebiet und ist einzeln käuflich.**

Kayser, Prof. Dr. H., Lehrbuch der Physik für Studierende. Dritte verbesserte Auflage. Mit 336 Abbildungen. gr. 8°. 1900. geh. M. 11.—; in Leinwand geb. M. 12.20.

Kohlfürst, L., Die selbsttätige Zugdeckung auf Strassen-, Leicht- und Vollbahnen. Mit 220 in den Text gedruckten Abbildungen. gr. 8°. 1903. geh. M. 10.—

Digitized by Google

Maier, Dr. J. und Preece, W. H., Das Telephon und dessen praktische Verwendung. Mit 304 Holzschnitten. 8°. 1889. geh. M. 9.—

Niethammer, Prof. Dr. F., Elektrotechnisches Praktikum. Für Ingenieure und Studierende. Mit 523 Abbildungen. gr. 8°. 1902. geh. M. 9.—; in Leinwand geb. M. 10.—

Niethammer, Prof. Dr. F., Berechnung u. Entwurf elektrischer Maschinen, Apparate u. Anlagen.

Für Studierende und Ingenieure. Fünf Bände. Erster Band: **Berechnung und Konstruktion der Gleichstrommaschinen und Gleichstrommotoren.** Mit 763 Textabbildungen. gr. 8°. 1904. geh. M. 16.—; in Leinwand geb. M. 17.60.

Dritter Band: **Elektrische Schaltanlagen und Apparate samt Grundlagen zur Projektierung elektrischer Anlagen.** Mit 609 Textabbildungen und 13 Tafeln. gr. 8°. 1905. geh. und in Leinwand geb.

Roloff, Dr. M. und Berkitz, P., Leitfaden für das elektrotechnische und elektrochemische Seminar. Für Studierende der Elektrotechnik, Physik, Mathematik, physikalischen und Elektrochemie, Maschinenbaukunde, sowie für den in der Praxis stehenden Ingenieur und Chemiker. Mit 75 Figuren. 8°. 1904. geh. M. 6.—; in Leinwand geb. M. 7.—

Schoop, Dr. P., Handbuch der elektrischen Accumulatoren. Auf Grundlage der Erfahrung und mit besonderer Berücksichtigung der technischen Herstellung. Mit 193 Abbildungen. 8°. 1898. geh. M. 12.—

Traube, Prof. Dr. J., Grundriss der physikalischen Chemie. Mit 24 Abbildungen. gr. 8°. 1904. geh. M. 9.—; in Leinwand geb. M. 10.—

Vogel, Prof. Dr. F. und Rössing, Prof. Dr. A., Handbuch der Elektrochemie und Elektrometallurgie. Mit 66 Abbildungen. gr. 8°. 1891. geh. M. 8.—

Wallentin, Prof. Dr. J. G., Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus. Mit besonderer Berücksichtigung der neueren Anschauungen über elektrische Energieverhältnisse und unter Darstellung der den Anwendungen in der Elektrotechnik zu Grunde liegenden Prinzipien. Mit 230 in den Text aufgenommenen Holzschnitten. gr. 8°. 1897. geh. M. 8.—

Wallentin, Prof. Dr. J. G., Einleitung in das Studium der modernen Elektrizitätslehre.

Mit 253 Holzschnitten. gr. 8°. 1892. geh. M. 12.—

Digitized by Google

Elektrotechnischer Verlag von Ferdinand Enke in Stuttgart.

v. Winkler, Ingenieur W., Der elektrische Starkstrom im Berg- und Hüttenwesen. Mit 424 Abbildungen und 2 Tafeln. gr. 8°. 1905. geh. M. 14.—; in Leinwand gebunden M. 15.40.

Wolfrum, Dr. A., Die Methodik der industriellen Arbeit als Teilgebiet der Industriekunde beziehungsweise der technischen Chemie. gr. 8°. 1904. geh. M. 8.—

Zenneck, Dr. J., Elektromagnetische Schwingungen und drahtlose Telegraphie. Mit 802 in den Text gedruckten Abbildungen. gr. 8°. 1905. geh. M. 28.—; in Leinwand gebunden M. 30.—

Sammlung elektrotechnischer Vorträge.

Herausgegeben von **Prof. Dr. E. Voit.**

Erster Band. (12 Hefte à M. 1.—)

1: **Der elektrische Lichtbogen.** Von Prof. Dr. Ernst Voit. Mit 44 Abbildungen. — 2: **Grundlagen für die Berechnung und den Bau von elektrischen Bahnen** und deren praktische Benutzung. Von Dr. Max Corsepius. Mit 2 Abbildungen. — 3: **Die Ziele der neueren elektrotechnischen Arbeiten der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.** Von Prof. Dr. K. Feussner. Mit 9 Abbildungen. — 4: **Ueber die Planté-Accumulatoren.** Von Dr. P. Schoop. Mit 28 Abbildungen. — 5/6: **Die Hauptbegriffe der Gleich- und Wechselstromtechnik** unter Benutzung mechanischer Hilfsvorstellungen. Von Prof. Dr. C. Heinke. Mit 22 Abbildungen. — 7/8: **Die Benützung einer und derselben elektrischen Leitung für verschiedene Betriebe** unter besonderer Berücksichtigung der bei den Eisenbahnen vorkommenden einschlägigen Schwachstrom-Anordnungen. Von Oberingenieur L. Kohlfürst. Mit 24 Abbildungen. — 9: **Die elektrischen Transformationsmethoden.** Von Prof. C. P. Feldmann. Mit 31 Abbildungen. — **Ueber Motorelektrizitätszähler.** Von Ingenieur G. Hummel. Mit 13 Abbildungen. — 10/11: **Scheinwerfer und Fernbeleuchtung.** Von F. Nerz. Mit 36 Abbildungen. — 12: **Die bisherigen Versuche mit elektrischen Zugstelegraphen.** Von Oberingenieur L. Kohlfürst. Mit 12 Abbildungen.

Zweiter Band. (12 Hefte im Abonnement M. 12.—, einzeln M. 1.20.)

1: **Der rotierende Umformer.** Von Charles Proteus Steinmetz. Mit 11 Abbildungen. — 2: **Eine Methode zu experimentellen Untersuchungen an Induktionsmotoren.** Von Alexander Heyland. Zweite Auflage. Mit 28 Abbildungen. — 3: **Die Wechsel- und Drehstromgeneratoren.** Von Prof. Dr. F. Niethammer. Mit 29 Abbildungen. — 4/5: **Die drahtlose Telegraphie.** Von Ingenieur Adolf Prasch. Mit 61 Abbildungen. — 6: **Elektrische Bleicherei.** Von Dr. P. Schoop. Mit 21 Abbildungen. — 7/8: **Ueber mehrphasige Stromsysteme bei ungleichmässiger Belastung.** Von Wlad. Karapetoff. Mit 65 Figuren. — 9/10: **Das elektrische Blocksignal System Křižik.** Von Ingenieur Adolf Prasch. Mit 56 Abbildungen. — 11/12: **Magnetismus.** Von Prof. Dr. F. Niethammer. Mit 57 Abbildungen.

Dritter Band. (12 Hefte im Abonnement M. 12.—, einzeln M. 1.20.)

1/3: **Beitrag zur Vorausberechnung und Untersuchung von Ein- und Mehrphasenstromgeneratoren** von E. Arnold und J. L. la Cour. Mit 87 Abbildungen. — 4: **Die industrielle Elektrolyse des Wassers und die Verwendungsgebiete von Wasserstoff und Sauerstoff.** Von Ingenieur M. U. Schoop. Mit 22 Abbildungen. — 5/6: **Die elektrische Beleuchtung der Eisenbahnzüge.** Von

Digitized by Google

Sammlung elektrotechnischer Vorträge.

Dritter Band (Fortsetzung).

Ingenieur Adolf Prasch. Mit 50 Abbildungen. — 7: **Experimentelle Untersuchungen auf dem Wechselstromgebiete.** Von Oberingenieur Thomas Marcher. Mit 49 Abbildungen. — 8/9: **Beitrag zur Theorie und Untersuchung von mehrphasigen Asynchronmotoren.** Von O. S. Bragstad. Mit 35 Abbildungen. — 10/11: **Ein Beitrag zur Vorausberechnung der Kommutationsverhältnisse bei Gleichstrommaschinen und des Spannungsabfalls bei Wechselstromgeneratoren.** Von Dr.-Ing. H. Gallusser. Mit 32 Abbildungen. — 12: **Der Uebergangswiderstand bei Kohlenbürsten.** Von Dr.-Ing. Max Kahn. Mit 5 Abbildungen und 24 in den Text gedruckten Tafeln.

Vierter Band. (12 Hefte im Abonnement M. 12.—, einzeln M. 1.20.)

1: **Der Wechselstrom-Serien-Motor.** Von Julius Heubach, Chef-Ing. Mit 35 Abbildungen. — 2: **Die neueren Forschungen über Ionen und Elektronen.** Von Prof. Dr. Gustav Mie. Mit 4 Abbildungen. — 3: **Das Leitvermögen von gepressten Pulvern.** (Kohlenstoff und Metallverbindungen.) Von Prof. Dr. Franz Streintz. Mit 8 Abbildungen. — 4/6: **Das Kreisdiagramm des Drehstrommotors und seine Anwendung auf die Kaskadenschaltung.** Von Dr. Max Breslauer. Mit 24 Figuren und 2 Tabellen. — 7: **Ueber einige Anwendungen des Elektrometers bei Wechselstrommessungen.** Von Dipl.-Ing. Karl Hohage. Mit 11 Abbildungen. — 8: **Ueber Kommutierungsvorgänge und zusätzliche Bürstenverluste.** Von Dr.-Ing. Adolf Railing. Mit 43 Abbildungen. — 9/10: **Kritische Betrachtungen über die von den fahrenden Eisenbahnzügen unmittelbar thätig zu machenden Stromschalter.** Von Oberingenieur L. Kohlfürst. Mit 48 Abbildungen. — 11/12: **Ueber deformierte Wechselströme mit besonderer Berücksichtigung eisengeschlossener Apparate.** Von Dipl.-Ing. Heinrich Hinden. Mit 16 Abbildungen und 3 Tafeln im Text. — **Ueber wahre und scheinbare Abweichungen vom Ohmschen Gesetz.** Von Dr. Erich Marx. Mit 3 Abbildungen.

Fünfter Band. (12 Hefte im Abonnement M. 12.—, einzeln M. 1.20.)

1/4: **Die Fortschritte auf dem Gebiete der drahtlosen Telegraphie.** Von Ingenieur Adolf Prasch. Mit 148 Abbildungen. — 5: **Das Nutenfeld in Zahnarmaturen und die Wirbelstromverluste in massiven Armaturkupferleitern.** Von S. Ottenstein. Mit 42 Abbildungen. — 6: **Ein Beitrag zur Kenntnis der Diffusionsvorgänge an Akkumulatorelektroden.** Von Ingenieur M. U. Schoop. Mit 13 Abbildungen. — 7/8: **Der Einfluss der Kurvenform auf die Wirkungsweise des Synchronmotors.** Von Dr.-Ing. Leopold Bloch. Mit 34 Abbildungen. — 9/10: **Die experimentelle Untersuchung der Kommutationsvorgänge in Gleichstrommaschinen.** Von Assistent Karl Czeija. Mit 31 Abbildungen. — 11/12: **Experimentelle Untersuchungen am polycyklischen Stromverteilungssystem Arnold-Bragstad-la Cour.** Von Dipl.-Ing. F. Marguerre. Mit 37 Abbildungen. **Zur Theorie des Elektrophors.** Von Paul Berkitz.

Sechster Band. (12 Hefte im Abonnement M. 12.—, einzeln M. 1.20.)

1: **Theorie der kompensierten Asynchronmaschine.** Von Chef-Ing. Julius Heubach. Mit 28 Abbildungen. — 2: **G. Schreibers neueste elektrische Zugsicherungseinrichtung.** Von L. Kohlfürst. Mit 12 Abbildungen. — 3/4: **Der Kaskadenumformer. Seine Theorie, Berechnung, Konstruktion und Arbeitsweise.** Von E. Arnold und J. L. la Cour. Mit 38 Abbildungen. — 5/8: **Die Fortschritte auf dem Gebiete der drahtlosen Telegraphie. II.** Von Ingenieur Adolf Prasch. Mit 92 Abbildungen. — 9: **Analytische und graphische Methoden zur Berechnung des Stromverbrauchs elektrischer Bahnen.** Von Dipl.-Ing. K. A. Schreiber. Mit 15 Abbildungen und 3 Tafeln. — 10: **Ueber magnetische Wirkungen der Kurzschlussströme in Gleichstromankern.** Von Dr.-Ing. Robert Pohl. Mit 38 Abbildungen. — 11/12: **Spannungserhöhung in elektrischen Netzen infolge Resonanz und freier elektrischer Schwingungen.** Von Ingenieur G. P. Markovitch. Mit 17 Abbildungen.

Digitized by Google

Digitized by Google

B89089683338A

Digitized by Google

G.E.STECHERT & CO. NEW YORK

Digitized by Google

b89089683338a

Digitized by Google